



Università degli Studi di Cagliari
Facoltà di Ingegneria

DOTTORATO DI RICERCA

Ingegneria del Territorio

XXVIII ciclo

Incidentalità in ambito urbano: studio del comportamento di guida in relazione alle caratteristiche geometriche dell'infrastruttura stradale.

Settore scientifico disciplinare di afferenza

Strade, ferrovie ed aeroporti (ICAR/04)

Coordinatore Dottorato
Prof. Ing. Roberto Deidda

Tutor Scientifico
Prof. Ing. Francesco Pinna

Dottoranda
Ing. Mariangela Zedda

Esame finale anno accademico 2014 – 2015

*La velocità, credetemi, è solo una galera che
rende noioso qualsiasi percorso e dilata le
distanze all'infinito.*

Paolo Rumiz.

A mio nonno

Sommario

Introduzione.9

1. Inquadramento della ricerca......13

1.1 Incidentalità..... 14

1.2 Le interazioni tra le componenti del sistema uomo-veicolo-ambiente..... 16

1.3 Obiettivi..... 18

2. Stato dell’arte.20

2.1 Analisi dei modelli predittivi..... 22

2.2 Criticità dei modelli. 30

3. Tecnica statistica applicata per la formulazione dei modelli.32

3.1 Analisi dei dati. 34

3.2 Il test di Kolmogorov-Smirnov..... 41

3.3 La regressione lineare multipla. 43

3.4 Analisi diagnostica..... 50

3.5 Validazione del modello..... 54

4. Metodologia......56

4.1 Selezione dei siti d’interesse. 56

4.2 Strumentazione e raccolta dati. 64

4.3 Acquisizione ed elaborazione dati..... 68

4.4 Le velocità..... 71

4.5	Le variabili.....	75
4.6	Analisi della variabile dipendente.	77
5.	Modelli predittivi delle velocità	87
5.1	Modelli predittivi in condizione di normale traffico.	89
5.2	Modelli predittivi in condizione di libera circolazione.	107
5.3	Validazione dei modelli.	135
5.4	Quadro riassuntivo dei modelli.	142
6.	Conclusioni.....	144
	Bibliografia.....	148
	Allegato.....	151

Introduzione.

Negli ultimi anni il tema della sicurezza stradale ha suscitato particolare interesse sia a livello internazionale sia nazionale. Questo è giustificato dal fatto che l'incidentalità ha assunto proporzioni talmente vaste da diventare tra le prime cause di morte e di disabilità in Europa e nel resto del mondo provocando costi sociali ed economici elevati. È lecito, pertanto, domandarsi cosa s'intenda per sicurezza stradale. In Italia manca una definizione universalmente accettata di sicurezza stradale. Si potrebbe definire quest'ultima come l'insieme di misure e metodologie atte a prevenire o ridurre il rischio di lesioni e morte per ogni tipologia di utente della strada: conducenti, passeggeri e pedoni. Per garantire la sicurezza è indispensabile il coinvolgimento di molteplici settori come educazione e formazione degli utenti della strada, progettazione sia veicolare sia stradale. Nonostante, però, tali settori ultimamente abbiano ottenuto importanti risultati, il numero di morti e feriti nelle strade risulta ancora inaccettabile. Per tale ragione, per poter capire in che modo operare al fine di migliorare la sicurezza stradale, è indispensabile analizzare il fenomeno e di conseguenza i principali fattori che concorrono al verificarsi del sinistro. Le analisi statistiche dell'incidentalità mostrano come la velocità sia l'elemento alla base del problema. Poiché la velocità è coinvolta in tutti gli incidenti ciò implica, paradossalmente, che in assenza di velocità non si verifichi nessun sinistro. È, difatti, il fattore che controlla la probabilità che il fenomeno dell'incidentalità avvenga e influisce sul grado di severità del danno. Quindi, in primo luogo, la velocità condiziona il livello di rischio di essere coinvolto in un incidente: le persone hanno bisogno di tempo per elaborare le informazioni, per decidere o meno e come rispondere a uno stimolo al fine di eseguire una reazione capace di evitare l'impatto. In secondo luogo la velocità influisce sulla gravità dell'incidente e, quindi, sulle lesioni. Infatti, ad un elevata velocità l'impatto è maggiore ed è maggiore anche l'energia cinetica rilasciata quando si verifica la collisione con un altro veicolo, utente della strada o qualsiasi altra tipologia di ostacolo. Inoltre il tipo di strada condiziona il rischio d'incidente. Su alcuni tipi di strade, come quelle urbane, le condizioni di traffico e le interazioni tra i molteplici utenti sono più complesse rispetto ad altre. Questo, ad esempio, dipende dalla configurazione dell'infrastruttura stradale, dalla assenza o presenza di pedoni, ciclisti, dalla tipologia di autovetture, etc. In più, ulteriori indagini hanno evidenziato che se da un lato il parco veicolare circolante diventa

di anno in anno potenzialmente più veloce, dall'altro il sistema stradale rimane pressoché inalterato senza subire un'evoluzione significativa. Quindi è ragionevole pensare che la causa degli incidenti sia dovuta non soltanto al comportamento irrispettoso delle regole del Codice delle Strade da parte degli utenti stradali, ma anche alla presenza di deficienze nelle norme che regolano la progettazione e l'adeguamento delle infrastrutture stradali. Infatti, le strade dovrebbero indurre i conducenti ad adottare le velocità per le quali sono state progettate e nella gran parte dei casi ciò non avviene. Questo probabilmente è dovuto al fatto che la normativa italiana prescrive che per dimensionare gli elementi del tracciato planimetrico venga utilizzato come parametro principale la velocità di progetto. Quest'ultima è una velocità ideale definita allo scopo di dimensionare gli elementi geometrici dai quali dipende la sicurezza, la regolarità e l'efficienza del moto dei veicoli. Inoltre il tradizionale approccio progettuale prescinde da un'adeguata considerazione dell'effettivo comportamento di guida in relazione sia alle caratteristiche geometriche che ambientali dell'infrastruttura stradale. Per poter rispondere alle esigenze di sicurezza stradale sarebbe opportuno rendere a livello progettuale il tracciato stradale congruente con le velocità reali dato che è stato dimostrato che le velocità adottate dagli utenti non sono conformi a quelle di progetto e i limiti di velocità abbondantemente superati. Per ovviare a tali problemi numerosi studi sono stati effettuati con lo scopo di predire le velocità in base alle componenti del traffico e alle caratteristiche geometriche dell'infrastruttura stradale. I numerosi modelli predittivi delle velocità, però, non possono essere considerati universalmente validi. La causa di ciò è da riscontrarsi nelle differenze tra un Paese e l'altro in termini di abitudini, condizioni socio-economiche, parco veicolare, condizioni climatiche, orografia del territorio attraversato. Inoltre il mondo scientifico ha focalizzato l'attenzione soprattutto nell'ambito extraurbano. Presumibilmente la ragione di ciò è da ricercare nella complessità delle dinamiche comportamentali dei guidatori e nella molteplicità di fattori che, in ambito urbano, influenzano la velocità per cui di conseguenza è più arduo trovare relazioni che spieghino il legame tra velocità dell'utente e caratteristiche dell'ambiente attraversato. È in questo contesto che si colloca il contributo scientifico della presente dissertazione che consiste nello studio della velocità in ambito urbano su strade a due corsie per doppio senso di marcia in due particolari condizioni di traffico: normale, di libera circolazione. L'approccio utilizzato a tal fine prevede l'impiego di tecniche statistiche che hanno una duplice valenza:

1. Consentono di capire quali elementi, sia di flusso veicolare che del tracciato stradale, influenzano il comportamento dell'utente medio;
2. Permettono di predire, in base agli elementi più influenti, le velocità.

Inoltre la peculiarità di tale studio consiste nel non adoperare le velocità istantanee che si riferiscono a uno specifico punto dello spazio stradale. Queste velocità non possono essere rappresentative del comportamento del guidatore poiché esso è mutevole nello spazio stradale. È opportuno prendere in considerazione altri parametri che tengano conto di tale variabilità come la velocità media spaziale perché consente di conoscere la velocità media adoperata per percorrere un tronco stradale in uno specifico intervallo temporale. Lo studio della variazione delle velocità assunta dai conducenti al fine di predire le velocità, nelle strade urbane, fornirebbe ai progettisti strumenti più adeguati per il dimensionamento degli elementi del tracciato, sulla base del reale comportamento dei guidatori. Alla luce di quanto esposto finora, lo studio proposto assume un ruolo cardine tanto nell'ambito progettuale quanto nel campo della sicurezza, in quanto, pone le basi per progettare o migliorare le prestazioni delle strade esistenti con un livello di sicurezza accettabile per le persone.

1. Inquadramento della ricerca.

La velocità è il filo conduttore che lega la progettazione alla sicurezza stradale. La progettazione stradale, sia che si tratti di una piccola strada che di un'imponente autostrada, implica una conoscenza del territorio e delle problematiche connesse al contesto in cui sorge. Ad oggi è raro costruire nuove strade, spesso si assiste, invece, a interventi che dovrebbero essere mirati al miglioramento del sistema viario. Se ci si sofferma ad analizzare il sistema viario esistente, si può notare come le strade italiane esistenti abbiano caratteristiche fisiche dissimili. Questo è una conseguenza del fatto che, in passato, spesso si faceva riferimento a standard progettuali differenti, in alcuni casi, non più appropriati alle condizioni d'impiego odierne. Inoltre, la mancanza di una normativa che regolasse gli interventi di adeguamento da attuare, per far fronte ai cambiamenti delle condizioni d'esercizio, ha consentito che elementi di disomogeneità si inserissero lungo gli itinerari stradali. È chiaro quindi che il *modus operandi* degli ultimi anni ha generato ripercussioni sulla qualità del servizio offerto e sulla sicurezza della circolazione. Dal punto di vista della sicurezza, le strade esistenti non hanno subito un'evoluzione significativa. Le strade dovrebbero indurre i conducenti ad adottare le velocità per le quali sono state progettate e invece spesso accade che non riescano a gestire le "nuove" velocità frutto di un parco veicolare che diventa di anno in anno sempre più veloce e potente. Questa mancanza del sistema infrastrutturale stradale si traduce in rischio che spesso si concretizza in incidente. Ciò che governa il verificarsi dell'incidente è difatti la velocità ovvero è il fattore preponderante che regola la probabilità che il sinistro avvenga e influisce sulla gravità del danno. Molto probabilmente la causa è da ricercare sia nel comportamento irrispettoso del Codice della Strada da parte di molti utenti della strada sia nella normativa italiana che stabilisce di utilizzare come parametro principale la velocità di progetto cioè una velocità del "passato" che non considera il cambiamento sia comportamentale (in termini di velocità) subito dagli utenti della strada sia del contesto, inteso non soltanto come l'ambiente limitrofo alla strada ma come il territorio in continua espansione ed evoluzione.

Pertanto si potrebbe considerare la velocità come il punto cardine di un sistema che coinvolge progettazione e sicurezza. Tale sistema nella realtà odierna si comporta come un circolo vizioso: una velocità progettuale che non

considera il reale comportamento di guida implica una cattiva progettazione che a sua volta causa problemi e incidenti sulla sicurezza degli utenti.

Con la presente ricerca si vuole colmare la mancanza normativa mediante l'ideazione di relazioni che permettano di predire le velocità.

1.1 Incidentalità.

Il tema della sicurezza stradale negli ultimi anni ha suscitato particolare interesse sia per l'attenzione posta a livello internazionale che in ambito nazionale. Questo è giustificato dal fatto che l'incidentalità ha assunto proporzioni talmente vaste da diventare tra le prime cause di morte e di disabilità in Europa e nel resto del mondo provocando costi sociali ed economici elevati. L'OMS, Organizzazione Mondiale della Sanità, ha presentato a Ginevra il "rapporto di stato globale 2013 sulla sicurezza stradale" (1) raccogliendo dati da 182 Nazioni che rappresentano il 99% della popolazione mondiale. Tale relazione sottolinea lo stato di allerta sociale e l'impatto della sicurezza stradale sulla salute degli abitanti del pianeta evidenziando che a livello mondiale ogni anno circa 1,24 milioni di persone perdono la vita a causa di un incidente stradale. Tra i Paesi coinvolti nell'inchiesta solo 28, tra cui anche l'Italia, hanno predisposto norme che comprendono i cinque fattori chiave degli incidenti: guida in stato di ebbrezza, velocità, mancato utilizzo del casco e cinture di sicurezza e le norme di restrizione per bambini a bordo di veicoli. Tali norme però non sono sufficienti poiché, sebbene il numero di sinistri sia in lieve calo, il numero di incidenti e quindi di morti e feriti, risulta ancora inaccettabile.

Per poter capire in che modo operare per migliorare la sicurezza stradale, a livello nazionale e locale, è necessario esaminare più nel dettaglio i fattori che provocano e concorrono al verificarsi dei sinistri, le persone coinvolte e le relative dinamiche. L'analisi del fenomeno ha evidenziato come l'ambito urbano sia quello caratterizzato da una maggiore frequenza di sinistri (i dati Istat hanno rilevato che in Italia circa il 75,3% degli incidenti registrati è avvenuto all'interno dei confini urbani (2)). In Italia inoltre l'incidente stradale risulta essere la prima causa di morte tra i giovani di età compresa tra 15 e 24 anni e per la fascia di età compresa tra 25 e 44 anni. In più, dalle indagini statistiche, è emerso che l'eccesso di velocità è tra le cause principali. Quest'ultimo

aspetto è di particolare importanza se si pensa che circa il 40-50% dei conducenti supera il limite di velocità consigliato. L'eccesso di velocità non soltanto aumenta il rischio di incidente ma accresce anche la possibilità di riportare lesioni gravi o mortali. In ambito urbano tale correlazione ha maggior peso se si pensa che per pedoni e ciclisti un impatto con un veicolo che viaggia a soli 30 Km/h produce lesioni gravi nel 40% dei casi e se la velocità supera i 50 Km/h la percentuale sale a 90%. Inoltre, se si analizza il fenomeno incidentale come si è andato configurando negli ultimi anni nel sistema viario italiano, appare evidente come la ripetitività degli eventi, la loro localizzazione e tipologia attribuiscono al fattore umano una rilevante quota di responsabilità. A livello locale, nella città di Cagliari, le statistiche coincidono con l'andamento nazionale. Nella figura sottostante è riportata l'area urbana della città di Cagliari che evidenzia le strade maggiormente colpite dai sinistri stradali.



Figura 1: mappa tematica incidenti stradali (Fonte Comune di Cagliari).

1.2 Le interazioni tra le componenti del sistema uomo-veicolo-ambiente.

Quando in letteratura si affrontano temi come l'incidentalità o la sicurezza stradale viene proposto uno schema ben consolidato a livello internazionale in cui vengono individuati principalmente tre macro-fattori che, interagendo tra loro, si condizionano reciprocamente e contribuiscono in maniera diversa alle dinamiche che governano il verificarsi degli eventi incidentali:

- Uomo, cioè l'utente della strada, con il suo comportamento (stato psicofisico, condotta di guida etc.) è in grado di condizionare l'esito, in termini di sicurezza, dei propri spostamenti;
- Veicolo, ovvero il mezzo con il quale l'uomo si muove, deve garantire la protezione dell'utente (mediante airbag, cinture di sicurezza, etc.);
- Ambiente, inteso come quello in cui il veicolo si muove e tutto ciò che su tale ambiente insiste e agisce. Ha la capacità di influenzare sia il comportamento di guida dei conducenti sia le prestazioni dei veicoli. L'ambiente, inteso anche come l'insieme di elementi al contorno della strada che assume un ruolo di particolare importanza in termini di leggibilità del tracciato stradale.

Sebbene siano stati individuati i macro-fattori che concorrono al verificarsi del fenomeno incidentale risulta piuttosto difficoltoso individuare al loro interno gli elementi costituenti e come questi interagiscono tra loro. A testimonianza di ciò è sufficiente osservare come alcuni ricercatori, analizzando il legame di questi tre fattori con il fenomeno incidentale, siano giunti alla conclusione che il fattore umano è la principale causa di sinistro mentre altri sostengano invece l'importanza della concomitanza dei tre fattori. Il pensiero di quest'ultimi è sintetizzato nello schema proposto dall' "Highway Safety Manual" in cui al fattore umano viene attribuito il 93%, al fattore ambiente il 34% e al fattore veicolo il 13% (3).

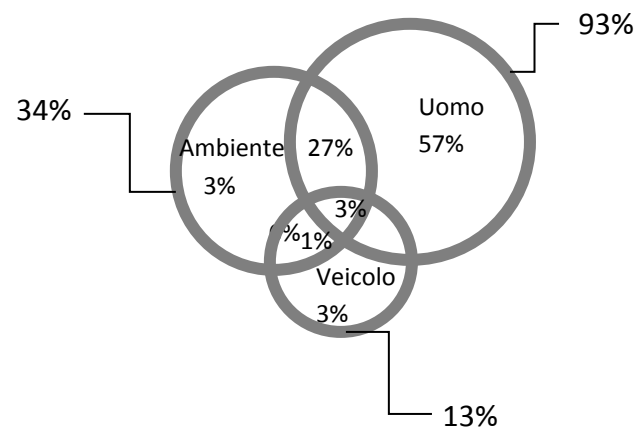


Figura 2: Peso dei macro-fattori sull'incidentalità (Fonte: Highway Safety Manual)

Il diagramma precedente risulta particolarmente utile per la comprensione di quanto finora esposto: è evidente come i settori uomo, veicolo e ambiente non possano essere ritenuti indipendenti ma interagiscano tra loro spesso sovrapponendosi e complicando di fatto la risoluzione del problema principale cioè la riduzione dei sinistri stradali.

1.3 Obiettivi.

La velocità è un parametro che coinvolge due campi strettamente connessi fra loro: sicurezza e progettazione stradale. Nel primo caso è l'elemento che regola sia il verificarsi dell'incidente sia la gravità del sinistro; nel secondo caso è la misura che viene fissata per definire le caratteristiche geometriche dell'infrastruttura. Pertanto la velocità assume un ruolo cardine tanto nel campo della sicurezza quanto nell'ambito progettuale. Per quanto concerne l'ambito progettuale, la normativa italiana sulla progettazione stradale (Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti – n. 6792 del 5 novembre 2001) stabilisce le norme funzionali e geometriche per le costruzioni delle strade (4). In particolare, per dimensionare gli elementi del tracciato planimetrico (curve circolari e rettili) viene utilizzato come parametro principale la velocità di progetto. Quest'ultima è una velocità ideale definita allo scopo di dimensionare gli elementi geometrici dai quali dipende la sicurezza, la regolarità e l'efficienza del moto dei veicoli.

Alla luce di quanto detto sopra, l'obiettivo principale è quello di rendere a livello progettuale il tracciato stradale e in particolare il rettili, congruente con le velocità reali dato che è stato dimostrato che le velocità adottate dagli utenti non sono conformi a quelle di progetto e i limiti di velocità sono spesso abbondantemente superati. Inoltre il tradizionale approccio progettuale prescinde da una adeguata considerazione dell'effettivo comportamento di guida in relazione sia alle caratteristiche geometriche che ambientali dell'infrastruttura stradale. Perciò lo scopo è quello in primis di stabilire se le relazioni presenti in letteratura a livello internazionale possano essere applicate alla realtà italiana e successivamente costruire i modelli predittivi delle velocità. A tal proposito si sono studiate due condizioni di traffico: il primo si riferisce a regimi di traffico normale, il secondo invece a regimi di libera circolazione. Questa distinzione è doverosa perché aiuta a comprendere meglio quali dinamiche del flusso veicolare e quali elementi dell'ambiente attraversato influiscano sul comportamento di guida e quindi sulla scelta della velocità adoperata dai conducenti per percorrere un determinato tratto del tracciato stradale.

2. Stato dell'arte.

L'analisi della letteratura scientifica di riferimento ha fatto emergere come lo studio del comportamento di guida sia stato approfondito negli anni principalmente in ambito extraurbano. Probabilmente ciò è dovuto al fatto che il problema degli incidenti è stato affrontato con l'obiettivo di ridurre i decessi, il cui numero è maggiore in ambito extraurbano, e non quello dei feriti. Questo tipo di approccio ha erroneamente portato a pensare che le strade extraurbane fossero più pericolose rispetto a quelle urbane nonostante il numero di incidenti fosse, e sia tuttora, nettamente inferiore. Pertanto, studiando le analisi eseguite in merito al comportamento di guida, si evince come il parametro più frequentemente utilizzato per descrivere il comportamento dell'utente in relazione alle reali condizioni di guida sia la velocità operativa. Quest'ultima è definita come la velocità al di sotto della quale viaggiano l'85% dei guidatori (solo autovetture) su un particolare elemento del tracciato stradale in condizioni di flusso libero, strada asciutta, luce diurna e buone condizioni meteorologiche. Dunque la velocità operativa in letteratura viene considerata come la velocità reale rappresentativa dell'effettivo comportamento dell'utente. Questo è confermato dall'ampio impiego, in molti Paesi, di tale velocità come parametro principale non solo nel campo della ricerca ma anche in fase di progettazione soprattutto per le strade extraurbane. Questo è comprensibile se si analizza la ricca produzione scientifica sull'argomento. Nello specifico, negli anni i ricercatori hanno individuato delle relazioni di natura empirica che si ricavano tramite un'analisi statistica condotta sulla velocità operativa legata alle caratteristiche geometriche di un campione di siti opportunamente scelti; da questo punto di vista tali relazioni hanno validità solo in condizioni analoghe a quelle in cui è stato raccolto il campione di dati. Di conseguenza si possono individuare tre tipologie di modelli in base alla classificazione delle strade: autostrada, extraurbana e urbana. Tali strade presentano sostanziali differenze in termini di infrastruttura, densità veicolare, utilizzo della corsia, natura dello spostamento etc. Inoltre, sono diversi i fattori che condizionano la velocità operativa come ad esempio le caratteristiche fisiche della strada, la presenza di pedoni, biciclette e aree di sosta ai margini della strada, le condizioni meteorologiche, la presenza di veicoli e la loro tipologia. Oltre a tali fattori ne esistono altri che sono propri del tracciato come il raggio della curvatura planimetrica, la pendenza longitudinale e le dimensioni della sezione trasversale. Molteplici sono gli

studi che hanno prodotto modelli di previsione delle velocità operative nelle curve circolari in funzione delle sole caratteristiche geometriche della curva stessa. Una raccolta di tali modelli è contenuta all'interno del report "Modeling Operating Speed - Synthesis Report" redatto da Transportation Research Board (5) da cui si sono stati ricavati i riferimenti agli studi e alle ricerche dei singoli autori, inseriti nel paragrafo sottostante e indicati nella bibliografia. Da un'attenta analisi dei modelli si è potuto constatare come le variabili maggiormente impiegate sono il raggio di curvatura, il grado di curvatura e il tasso di variazione della singola curva. Più esigui invece sono i modelli che prendono in considerazione oltre alle suddette variabili anche quelle legate alla geometria degli elementi contigui del tracciato o del tronco stradale in esame. Per quanto concerne invece i modelli pensati per i rettilinei sono adoperati due tipi di variabili ovvero quelle che esprimono le caratteristiche proprie del rettilineo e quelle che rappresentano le caratteristiche geometriche degli elementi adiacenti e più precisamente la curva che lo precede. Pertanto in linea generale i modelli costruiti per predire le velocità operative si potrebbero suddividere principalmente in tre gruppi:

- I modelli che utilizzano come variabili le caratteristiche proprie dell'elemento stradale oggetto di studio (curva o rettilineo);
- I modelli che utilizzano come variabili le caratteristiche geometriche della curva o del rettilineo precedenti;
- I modelli che prendono in considerazione il tronco stradale nella sua totalità.

Oltre al tipo di approccio modellistico, soprattutto in termini di scelta delle variabili, in letteratura esistono due tipi diversi di raccolta dati: quelli che costruiscono i modelli mediante osservazione diretta sul campo delle velocità (pistola laser, radar, GPS) e quelli che utilizzano simulatori di guida. I primi sono più complessi per via delle difficoltà che si riscontrano nell'eseguire le misurazioni in condizioni ambientali e di traffico controllate; i secondi sono una valida alternativa ai primi, soprattutto in termini di costi, ma tralasciano la mutabilità del contesto ambientale, l'imprevedibilità comportamentale, anche psicologica, del guidatore nella variabilità di circostanze che si possono riscontrare solo ed esclusivamente nella realtà.

Alla luce di quanto esposto sopra, nei successivi paragrafi sono descritti i modelli predittivi relativi all'ambito urbano e le criticità riscontrate.

2.1 Analisi dei modelli predittivi.

La forte complessità delle dinamiche comportamentali dei guidatori in ambito urbano ha sempre scoraggiato la costruzione di modelli matematici in grado di rappresentare il comportamento di guida in relazione alle caratteristiche dell'ambiente attraversato. A livello nazionale i modelli esistenti riguardano esclusivamente l'ambito extraurbano, mentre a livello internazionale vi è una scarsa produzione scientifica soprattutto per gli studi riguardanti i rettifili. A titolo esemplificativo si riportano di seguito i modelli più significativi presenti in letteratura.

Per quanto riguarda la produzione scientifica nazionale è solo relativa all'ambito extraurbano e la maggior parte si focalizza sullo studio delle curve e impiegano, per la raccolta delle velocità, simulatori di guida. Nella fattispecie si riportano due casi. Tra le recenti ricerche vi è quella che analizza il comportamento di guida, sviluppando modelli predittivi delle velocità operative sulla base dei profili delle velocità. In particolare sono stati sviluppati modelli di velocità, accelerazione e decelerazione al fine di esaminare il comportamento di guida in curva e nella transizione tra rettilineo – curva (6).

<i>Montella et al. (2015)</i>	$V_{85_curve} = 124.531 - 4.517/R$	$R^2=0.891$
	$V_{85_tangent} = 137.076 - 2.480/R_{cb}$	$R^2=0.620$
	$d = -0.0011 + (0.308/R)$	$R^2=0.799$
	$a = 0.186 + (0.308/R)$	$R^2=0.402$
	$SP/L_c = (-0.029 + 0.045/R)$	$R^2=0.638$
	$EP/L_c = (0.080 + 0.136/R)$	$R^2=0.635$

In cui:

V_{85_curve} = velocità operativa in curva [km/h];

$V_{85_tangent}$ = velocità operativa nel rettilineo di approccio alla curva [km/h];

d = tasso di decelerazione [m/s^2];

a = tasso di accelerazione [m/s^2];

SP = punto di inizio del tratto a velocità operativa costante in curva[km];

EP = punto finale del tratto a velocità operativa costante in curva [km];

R = raggio di curvatura [km];

R_{cb} = raggio di curvatura che precede il rettilineo di approccio alla curva [km];

Per quanto concerne lo studio dei rettifili in ambito extraurbano, tra i più citati è quello di Bella et al. che fanno riferimento a strade a una corsia per senso di marcia e stimano la velocità operativa in rettilineo (7).

$$\text{Bella et al. (2005)} \quad V_{85T} = -0.073 \cdot CCRS_{(i-1)} + 0.027 \cdot LT - 1.61 \cdot i + 126.4 \quad R^2 = 0.88$$

In cui:

V_{85T} = velocità operativa [km/h];

$CCRS_{(i-1)}$ = tasso di variazione della curvatura della singola curva che precede il rettilineo [°/km];

LT = lunghezza del rettilineo [m];

i = pendenza longitudinale [%];

La produzione scientifica internazionale, sebbene scarsa, per quanto concerne l'ambito urbano offre alcuni modelli riportati di seguito.

Ali et al. (2007) (8) hanno studiato la correlazione tra la velocità di flusso libero, il limite di velocità e le caratteristiche geometriche di progetto. Sono state prese come riferimento 35 strade urbane a 4 corsie nella contea di Fairfax, Virginia. Le strade oggetto di studio sono caratterizzate da limiti di velocità compresi tra 35 e 45 mph (56 e 72 km/h) e sono stati considerati solo i flussi relativi alle autovetture. L'analisi ha messo in evidenza che il limite di velocità, la presenza dello spartitraffico, la lunghezza del tronco influiscono sulla velocità di flusso libero sulle strade urbane. Il flusso libero è stato determinato come distanza temporale tra veicoli: 7 o 8 secondi con il veicolo che precede e 4 o 5 secondi con il veicolo che segue.

$$\text{Ali et al. (2007)} \quad FFS_{\text{mean}} = 39,3 + 8,6PS_{45} + 3,7PS_{40} \quad R^2 = 0.76$$

$$FFS_{85} = 42,3 + 10,4PS_{45} + 3,8PS_{40} \quad R^2 = 0.77$$

$$FFS_{mean} = 37,4 + 6,8PS_{45} + 2,6PS_{40} + 13,5SL$$

$$R^2 = 0.87$$

$$FFS_{85} = 37,4 + 8PS_{45} + 2,1PS_{40} + 3,6MT + 13SL$$

$$R^2 = 0.86$$

In cui:

FFS_{mean} = velocità media in condizioni di flusso libero [mph];

FF_{85} = velocità operativa in condizioni di flusso libero [mph];

PS_{45} = velocità imposta (1 se la velocità è 45 mph, 0 diversamente, minimo 35 mph);

PS_{40} = velocità imposta (1 se la velocità è 45 mph, 0 diversamente, minimo 35 mph);

SL = lunghezza del rettilineo [ft];;

MT = tipo di spartitraffico (1 se esiste, 0 se non esiste);

Fitzpatrick et al. (2003) hanno studiato come la velocità operativa e la velocità limite siano tra loro correlate. Sono stati effettuati rilievi su 78 siti suddivisi in ambito urbano e suburbano in Arkansas, Missouri, Tennessee, Oregon, Massachusetts e Texas. Le condizioni di flusso libero sono individuate quando intercorre un intervallo temporale frontale tra i veicoli maggiore o uguale a 6 secondi ed un intervallo temporale posteriore maggiore o uguale a 3 secondi.

Fitzpatrick et al. (2003)

$$V_{85} = 7,68 + 0,98 PSL$$

$$R^2 = 0,90$$

$$V_{85} = 7,68 + 0,83 PSL - 0,05 AD$$

$$R^2 = 0,90$$

In cui:

V_{85} = 85-simo percentile di velocità [km/h];

PSL = limite di velocità imposto [km/h];

AD = densità degli accessi.

Poe e Mason (2000) (9) hanno effettuato uno studio su 27 strade urbane in Pennsylvania. Sono stati raccolti dati inerenti la sede e i margini stradali, la sezione trasversale, la destinazione d'uso delle aree e variabili di traffico come i limiti di velocità, segnali di pericolo e marcature sulle pavimentazioni per capire in che modo le caratteristiche dell'ambito urbano possano influenzare la velocità operativa. Sono stati impiegati contatori di traffico per raccogliere le velocità operative sui rettifili in ingresso e uscita dalla curva, in corrispondenza dei punti di tangenza tra curve e rettilinei e a metà delle curve. Hanno considerato solo le autovetture in condizioni di flusso libero determinato come distanza temporale tra veicoli maggiore o uguale a cinque secondi. Le autovetture ostacolate dalla presenza di biciclette o pedoni sono state escluse dall'analisi. Per definire una relazione tra la velocità operativa e le caratteristiche della strada i ricercatori si sono avvalsi di un approccio misto. Questo consiste nell'includere effetti sia fissi sia casuali: i primi sono propri delle caratteristiche geometriche e di quelle variabili legate all'uso del suolo; i secondi rappresentano un campione casuale di popolazione: ad esempio la localizzazione del sito di analisi lungo un tronco in esame è stato modellato come variabile casuale.

Il modello degli effetti fissi è stato stimato nella metà della curva come riportato sotto.

$$\text{Poe e Mason (2000)} \quad V = 57,47 - 0,23 \text{ DEGCVR} - 3,17 \text{ LANWIDN} - 1,23 \text{ HZRT5N}$$

In cui:

V = velocità media[km/h];

DEGCVR = grado di curvatura[°];

LANWIDN = larghezza della corsia[m];

HZRT5N = (roadside hazard rating) indica il rischio di incidente su una strada a carreggiata unica a due corsie. Gli indicatori possono variare da 1 (condizioni migliori di sicurezza) a 7 (condizioni peggiori di sicurezza) in funzione delle caratteristiche della infrastruttura stradale.

I modelli misti sono stati costruiti per il rettifilo d'ingresso a 150 piedi dalla curva (PC 150), per un punto generico della curva (PC), per la mezzeria della curva (MID) e per il punto di tangenza alla fine della curva (PT). I ricercatori sono arrivati alla conclusione che il modello misto si presta meglio a stimare le velocità.

$$\text{PC 150 } V_{85} = 49.59 + 0.5\text{DEGCVR} - 0.35 \text{ GRADE} + 0.74 \text{ LANWIDN} - 0.74 \text{ HZRT5} \quad R^2=0,99$$

$$\text{PC } V_{85} = 51.13 - 0.1\text{DEGCVR} - 0.24 \text{ GRADE} - 0.01 \text{ LANWIDN} - 0.57 \text{ HZRT5N} \quad R^2=0,98$$

$$\text{MID } V_{85} = 48.82 - 0.14\text{DEGCVR} - 0.75 \text{ GRADE} - 0.12 \text{ LANWIDN} - 0.12 \text{ HZRT5N} \quad R^2=0,90$$

$$\text{PT } V_{85} = 43.41 - 0.11\text{DEGCVR} - 0.12 \text{ GRADE} + 1.07 \text{ LANWIDN} + 0.3 \text{ HZRT5N} \quad R^2=0,90$$

In cui:

V = velocità operativa[km/h];

DEGCVR = grado di curvatura[°];

GRADE = pendenza

LANWIDN = larghezza della corsia [m];

HZRT5N = (roadside hazard rating) indica il rischio di incidente su una strada a carreggiata unica a due corsie. Gli indicatori possono variare da 1 (condizioni migliori di sicurezza) a 7 (condizioni peggiori di sicurezza) in funzione delle caratteristiche della infrastruttura stradale.

Tarris et al. (1996) (10) hanno studiato la velocità operativa in 27 strade urbane in Pennsylvanya, i dati e le procedure sono quelle utilizzata da Poe (2000). Per la costruzione dei modelli sono stati utilizzati sia dati individuali sia dati aggregati di velocità a flusso libero.

Tarris et al. (1996)

$$\begin{array}{lll} - & \text{modello per velocità aggregate:} & V=53.5-0.265D \quad R^2=0,82 \end{array}$$

$$\begin{array}{lll} - & \text{modello con singole velocità a flusso libero:} & V=53.8-0.272D \quad R^2=0,63 \end{array}$$

in cui:

V = velocità operativa media[km/h];

D = grado di curvatura[°];

Inoltre in letteratura sono presenti studi che utilizzano metodologie differenti da quelle esposte finora: alcune riguardano il rilevamento e l'acquisizione dei dati mentre altre utilizzano invece tecniche modellistiche differenti da quello che si sono utilizzati nella presente ricerca.

Wang et al. (2006) (11) hanno sviluppato modelli per strade urbane a basse velocità utilizzando dati raccolti mediante GPS (global positioning system) posizionati sui veicoli. I modelli mostrano come la densità di elementi al bordo strada (come ad esempio la presenza di alberi, pali dell'illuminazione), la densità degli accessi, la presenza di marciapiedi e parcheggio hanno un effetto negativo sulla velocità adoperata dai conducenti; mentre il numero di corsie, la presenza di cordoli e l'uso del territorio (commerciale e residenziale) sono positivamente associati alla velocità operativa.

Wang et al. (2006)

$$V_{85} = 31.564 + (6.491 \text{ lane.num}) - (0.101 \text{ roadside}) - (0.051 \text{ driveway}) - (0.082 \text{ intersection}) + (3.01 \text{ curb}) - (4.265 \text{ sidewalk}) - (3.189 \times \text{parking}) + (3.312 \times \text{land.use1}) + (3.273 \times \text{land.use2}) \quad R^2=0,67$$

$$V_{95} = 31.143 + (6.671 \times \text{lane.num}) - (0.096 \times \text{roadside}) - (0.048 \times \text{driveway}) - (0.078 \times \text{intersection}) + (3.324 \times \text{curb}) - (4.424 \times \text{sidewalk}) - (2.864 \times \text{parking}) + (3.507 \times \text{land.use1}) + (3.379 \times \text{land.use2})$$

In cui:

lane.num = numero di corsie;

roadside = densità di elementi al bordo strada [n° di elementi per km/distanza dalla strada(m)];

driveway = densità di passi carrabili [n°di passi carrabili per km];

intersection = densità di intersezioni-T [n° di intersezioni-T per km;]

curb = cordolo (0=assente 1=presente);

sidewalk = marciapiede (0=assente 1=presente);

parking =aree di sosta (0=assente 1=presente);

La variabile land.use assume tali valori:

- Se l'uso è commerciale:

land.use1 =0 land.use2=0.

- Se l'uso è residenziale:

land.use1 =1 land.use2=0; altrimenti: land.use1 =0 land.use2=1.

Karlgren (2001) (12) ha sviluppato un modello per nove strade a Gothenburg, Svezia. Il modello esprime la velocità media osservata (raccolte mediante pistola laser) in funzione della larghezza media della carreggiata, del numero veicoli all'ora, del numero di veicoli parcheggiati per 100 metri, del numero di pedoni e ciclisti che attraversano la strada all'ora, e la larghezza media dall'edificio o albero più vicino.

$$\begin{aligned} \text{Karlgren (2001)} \quad V_{\text{seg.}}(\text{km/h}) = & 26.3 + 0.04 \times \text{vehicle flow per hour in the studied direction} \\ & + 2.52 \times \text{average carriageway width (m)} \\ & - 0.05 \times \text{number of crossing pedestrians and cyclists} \end{aligned} \quad R^2=0,69$$

In cui:

$V_{\text{seg.}}(\text{km/h})$ = velocità media osservata;

vehicle flow per hour in the studied direction= flusso dei veicoli per ora nella direzione di marcia di studio;

number of crossing pedestrians and cyclists= numero di ciclisti e di pedoni che attraversano.

Karin F.M. Arosso (2006) (13) utilizza la tecnica della micro e macro simulazione e il GPS per il rilevamento delle velocità. Afferma che alcune tra le variabili significative che influenzano la velocità sono il flusso di traffico, il numero di corsie, i parcheggi a lato della strada, la presenza di piste ciclabili e il numero di pedoni che attraversavano la strada. Lo studio è stato condotto, con l'ausilio di tecniche di simulazione, per tre tipi di strade in cui vi è il limite di velocità di 50 Km/h.

$$Arosso (2006) V_{obs} = 39,8 - 0,20 \text{ Flow} - 0,24 \text{ Ped} - 5,24 \text{ Lanes} + 4,73 \text{ BicSep} - 5,54 \text{ Park} \quad R^2 = 0,66$$

V_{obs} = velocità media spaziale;

Flow = flusso di traffico medio (riferita ai 5min);

Ped.= numero medio di pedoni e ciclisti in attraversamento;

Lanes = numero di corsie nella direzione studiata (1 o 0);

BicSep = corsia ciclabile separata (1=separata, 0=non separata);

Park = parcheggio (1=presente, 0=assente).

2.2 Criticità dei modelli.

I modelli presenti in letteratura, sebbene forniscano importanti risultati, non possono essere considerati universalmente validi. La causa è da riscontrarsi nelle differenze tra un Paese e l'altro (ma anche tra diverse realtà locali dello stesso paese) in termini di abitudini, parco veicolare, condizioni climatiche, orografia del territorio attraversato e regole di circolazione. Ad esempio i modelli costruiti per le strade extraurbane non possono essere applicati a quelle urbane per il diverso stile di guida che in genere i guidatori assumono nel percorrere le due tipologie di strade, per le caratteristiche dissimili dell'ambiente attraversato, per il volume e le caratteristiche di traffico differenti. Per quanto concerne i modelli costruiti per l'ambito urbano, la maggior parte dei ricercatori utilizza come variabile indipendente i diversi limiti di velocità; questo non può essere utilizzato nel caso di studio in quanto le strade urbane sono contraddistinte dal limite di velocità pari a 50 Km/h. Infine vi sono i modelli costruiti mediante monitoraggio delle reali velocità su strada che utilizzano come variabile dipendente le velocità istantanee ovvero velocità puntuali dei veicoli riferite in un dato punto dello spazio stradale e non vengono pertanto considerate le variazioni di velocità che il veicolo effettua mentre attraversa l'elemento del tracciato stradale oggetto di studio. Un'altra criticità riscontrata riguarda la determinazione della velocità operativa che esclude le velocità maggiori ovvero quei comportamenti definiti "rischiosi" e che avrebbero invece necessità di uno studio più approfondito. Infine l'ultima problematica fa riferimento a condizioni di traffico in regime di circolazione libera. In letteratura, infatti, non è presente uno standard che definisce il veicolo isolato, in termini di distanza temporale tra i veicoli, né tantomeno viene illustrato dai ricercatori il criterio impiegato per la sua determinazione.

Riassumendo le criticità riscontrate sono:

- Inapplicabilità dei modelli esistenti al caso studio;
- Utilizzo della velocità istantanea;
- Mancanza di uno standard che definisca il veicolo isolato.

3. Tecnica statistica applicata per la formulazione dei modelli.

La statistica è spesso definita come la disciplina che studia le tecniche per la raccolta dei dati e la loro elaborazione affinché si possa ottenere il maggior numero d'informazioni concernenti l'oggetto di analisi. La statistica mette a disposizione tecniche e pratiche modellistiche in grado di svolgere analisi, operazioni ed elaborazioni di dati che sono alla base della ricerca empirica. Il ruolo della metodologia statistica è fondamentale nell'applicazione del metodo scientifico che è basato sulla formulazione di un'ipotesi che deve essere verificata mediante un esperimento pianificato. La metodologia si basa:

- Sulla definizione del disegno della ricerca che consiste nell'identificare il problema che s'intende affrontare;
- Sulla formulazione delle ipotesi;
- Sull'organizzazione dell'esperimento adatto a verificarla;
- Sull'analisi e utilizzazione dei risultati ottenuti.

Utilizzando tale iter, che caratterizza il metodo statistico, è possibile descrivere e comprendere la variabilità di un sistema o un fenomeno. La statistica può essere scissa in due parti: descrittiva e inferenziale. La prima comprende l'insieme di metodi e tecniche per la presentazione e sintesi dei dati sperimentali. In questo modo è possibile ottenere, attraverso semplici analisi grafiche e pochi calcoli numerici, una sintesi semplice del campione e delle misure raccolte. La seconda consente invece, con l'aiuto di modelli matematici, di arrivare a conclusioni che si estendono oltre i dati raccolti nel loro immediato e che possono essere valide e riferibili ad un contesto più ampio rispetto a quello dei dati del singolo esperimento. In generale si può affermare che la statistica descrittiva si occupa di rappresentare l'informazione contenuta in un determinato insieme o campione di dati mentre quella inferenziale utilizza tale informazione per costruire asserti. In particolare esistono numerosi metodi d'inferenza statistica, alcuni si riferiscono a una sola variabile¹, altri aiutano a valutare la relazione tra la variabile dipendente

¹ La variabile rappresenta il fattore sperimentale ovvero un insieme di caratteristiche rilevate e oggetto di studio ed è distinta in quantitativa e qualitativa. La variabile quantitativa assume valori numerici e può essere continua (assume qualsiasi valore in un

e una o più variabili indipendenti. Quando s'intende studiare un determinato fenomeno che è soggetto a mutazione e variabilità nel tempo o nello spazio spesso si ricorre a un approccio modellistico che consente di studiare e stabilire le relazioni tra le variabili. Un modello matematico o predittivo serve a comprendere meglio uno specifico fenomeno, a fornire previsioni sul suo andamento futuro e a operarne il controllo. Tuttavia il modello matematico non è in grado di rappresentare in maniera esatta un fenomeno reale ma lo semplifica. Il vantaggio dell'utilizzo dei modelli è che, per spiegare il fenomeno, sono tralasciati i fattori ininfluenti e si ha un aiuto nel comprendere come funziona (si comporta) un determinato evento. Lo svantaggio è che la semplificazione potrebbe essere eccessiva (14). Nei paragrafi successivi sono descritti i passi, schematizzati in figura 3, che la disciplina della statistica suggerisce di seguire per comprendere meglio un particolare fenomeno; in particolare è illustrata la procedura teorica di base utilizzata per la costruzione dei modelli matematici al fine di facilitare i lettori nella corretta interpretazione delle analisi attuate e dei risultati ottenuti dalla ricerca.

intervallo reale predefinito) o discreta (assume valori finiti). La variabile qualitativa assume valori non numerici e può essere ordinale (i dati sono ordinati) o categorica (i dati sono classificati).

La variabile inoltre può essere distinta a sua volta in dipendente o indipendente. La variabile dipendente o di risposta è la misura del comportamento del soggetto oggetto d'indagine, mentre quella indipendente o esplicativa è considerata la causa di qualche modificazione degli stimoli e delle risposte.

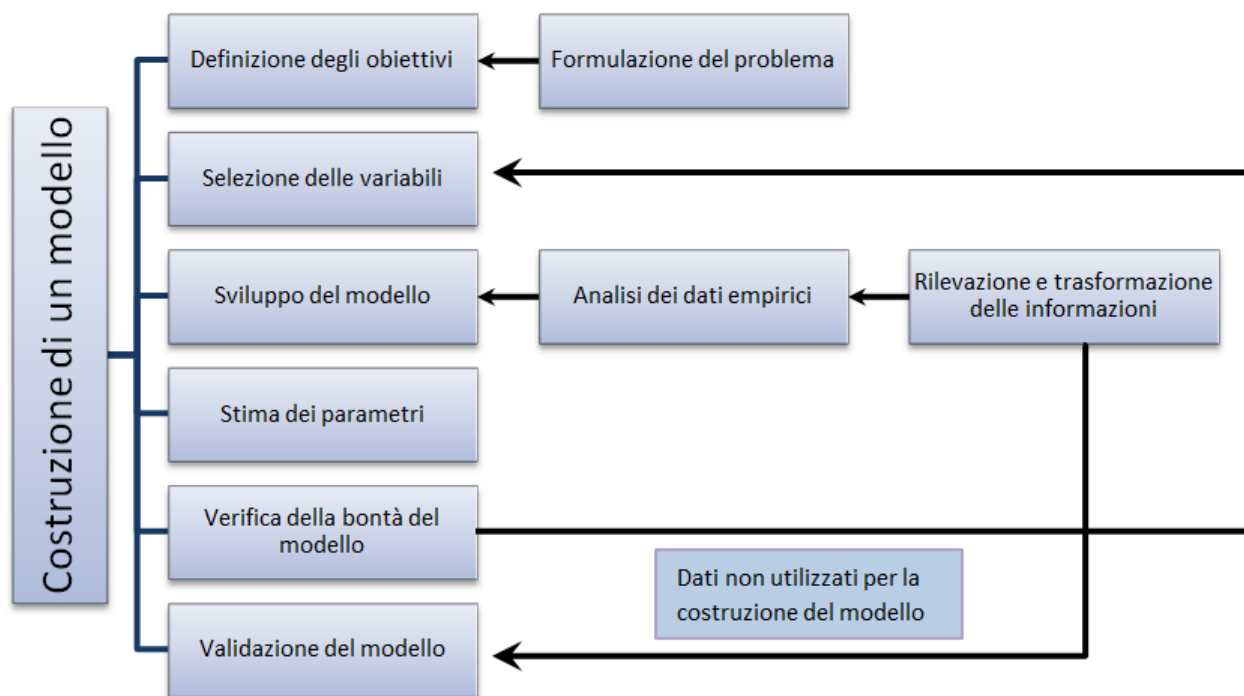


Figura 3: Fasi del processo di modellizzazione.

3.1 Analisi dei dati.

La statistica descrittiva permette di rappresentare le principali caratteristiche della variabile considerata e di individuare le tecniche statistiche da impiegare in un secondo tempo per ottenere una più dettagliata analisi e interpretazione dei dati. L'analisi dei dati consente, una volta che questi sono stati raccolti ed elaborati, di valutare come si distribuiscono i valori della variabile che s'intende studiare. La valutazione può essere eseguita mediante metodi grafici oppure attraverso stime numeriche riassuntive. Per quanto concerne i valori numerici, sono utilizzati opportuni indici di sintesi che esprimono una specifica caratteristica della distribuzione delle osservazioni quali tendenza centrale, la variabilità e la forma della distribuzione.

Rappresentazione grafica.

I metodi grafici sono utilizzati con una duplice valenza: descrittiva, che consente di indagare sul fenomeno in forma puramente visiva; scientifica, per ricercare la funzione che esprime l'andamento del fenomeno oggetto di studio e quindi il modello matematico più appropriato da applicare (15). Una volta che si è provveduto a raccogliere un insieme di misure, cioè un campione, è opportuno organizzarle in modo che, visivamente, si possano estrarre le informazioni più importanti. Inoltre è consuetudine, soprattutto per le variabili continue, utilizzare come rappresentazione grafica l'istogramma. Quest'ultimo può essere considerato come una stima grafica della distribuzione di frequenza, un diagramma cartesiano in cui nell'asse delle ascisse si riporta il valore della grandezza in esame, organizzata in intervalli, e in ordinata la frequenza assoluta con cui si presentano i diversi valori. La prima informazione che si può dedurre è il campo o intervallo di variazione, che consiste nell'individuare il valore massimo e quello minimo. In seguito i dati vengono raggruppati in classi o, in caso di variabili continue, in intervalli per ottenere la distribuzione di frequenza o di intensità. Molti teorici hanno cercato di definire l'ampiezza ottimale di tali intervalli ma generalmente questi metodi richiedono ipotesi restrittive sulla distribuzione. A seconda della distribuzione dei dati e degli obiettivi dell'analisi, molti statistici suggeriscono di investigare sperimentalmente al fine di adottare la larghezza appropriata. Per suddividere i dati in intervalli esistono diverse linee guida e utili regole pratiche. In letteratura scientifica i metodi più utilizzati sono quelli di Sturges e di Freedman&Diaconis. La regola di Sturges (16) fornisce indicazioni sia sul numero sia sull'ampiezza degli intervalli:

$$k = 1 + \log_2 n \quad (3.1.1)$$

Dove:

k = Numero d'intervalli

n = Numero di osservazioni

$$w = R/K$$

(3.1.2)

Con:

w = Ampiezza intervallo

R = Differenza tra il valore massimo e quello minimo

K = Numero d'intervalli

La formula di Freedman-Diaconis (17) è utilizzata in presenza di dati anomali e definisce l'ampiezza degli intervalli come segue:

$$h = 2 * IQR(x) * n^{-1/3}$$

(3.1.3)

Dove:

h = Ampiezza intervallo

IQR = Scarto interquantile (differenza tra il primo e il terzo quantile)

n = Numero di osservazioni

Un'altra rappresentazione che presenta il vantaggio di non definire le classi o gli intervalli, è la frequenza cumulativa (o di ripartizione empirica) ottenuta cumulando progressivamente le frequenze al crescere del valore della variabile in oggetto.

Indici di sintesi.

Gli indici di sintesi sono distinti in misure:

- di tendenza centrale o indici di posizione (moda, mediana, media, percentili);
- della dispersione (campo di variazione, scarto quadratico medio, varianza, coefficiente di variazione);
- della forma della distribuzione (indici di asimmetria e di curtosi).

La peculiarità di tali indici consiste nel fatto che in un unico valore esprimono una specifica caratteristica della distribuzione dei dati. La media e lo scarto quadratico medio sono gli indici più utilizzati perché è in conformità a questi parametri che è definita la distribuzione normale.

Gli indici di posizione permettono di valutare l'ordine di grandezza delle manifestazioni e sono utilizzati per localizzare la distribuzione, in altre parole consentono di identificare il valore del carattere² attorno al quale si concentra la distribuzione.

- La moda è definita come il valore che ha la frequenza più elevata e quindi esprime la modalità più ricorrente della variabile. È meno stabile e oggettiva delle altre misure di tendenza centrale e per tale motivo è utilizzata per scopi puramente descrittivi. Una distribuzione può presentare una moda (unimodale) o più mode (bimodale o plurimodale).

Quest'ultime possono essere il risultato della scarsità di osservazioni o del fatto che i dati non siano omogenei.

- La mediana è una misura robusta perché poco influenzata da valori anomali ed è quel valore assunto che si trova a metà di una distribuzione.
- La media aritmetica (\bar{x}) è quel valore che corrisponde al rapporto tra la somma di tutti i valori e il numero di valori attesi. Rappresenta il valore che sostituito a ciascun x_i lascia invariata l'intensità totale (somma).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x$$

(3.1.4)

- I percentili sono quei valori che dividono la distribuzione in parti di uguale numerosità. La mediana rappresenta il 50-esimo percentile (Q2). I più utilizzati sono il 25-esimo o primo quantile (Q1) e il 75-esimo o terzo quantile (Q3) e insieme alla mediana dividono la distribuzione in quattro parti uguali.

² In statistica con il termine “carattere” s'intende indicare il tipo di dati sul quale si concentra lo studio statistico o più precisamente la variabile oggetto d'interesse.

Gli indici di dispersione indicano quanto variano le osservazioni all'interno dello stesso campione.

- Il campo di variazione (range) rappresenta l'intervallo all'interno del quale si distribuiscono i dati e pertanto è ottenuto dalla differenza tra il valore massimo e quello minimo. Se il valore è piccolo, significa che i dati sono concentrati, viceversa se è grande, indica che i dati sono dispersi. Lo svantaggio di tale indice è che tiene conto solo dei valori estremi e non di tutti i dati, quindi può accadere che distribuzioni diverse ma con stessi valori estremi abbiano campi di variazione identici.
- La variabilità o dispersione dei dati indica il grado di variazione o di oscillazione rispetto alla loro tendenza centrale, tale indice è detta varianza (s^2) ed è definita come:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

(3.1.5)

- Lo scarto quadratico medio o deviazione standard (s) è utilizzato per rappresentare la variabilità di una distribuzione e nello specifico il grado di dispersione attorno alla media dei diversi valori. È usato come "correttivo" della media. Un suo valore molto basso indica che i valori rilevati sono distribuiti in un'area molto ridotta attorno alla media e quindi è rappresentativo della realtà, viceversa se assume un valore alto significa che i valori si distribuiscono su un'area maggiore.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

(3.1.6)

- Il coefficiente di variazione (CV) è una misura relativa di dispersione ed è una grandezza svincolata da ogni scala di misurazione (adimensionale). I valori variano dal 5% al 15%. Se i valori sono molto bassi (2-3%), è indicativo dell'esistenza di fattori che limitano la variabilità; se i valori sono alti (maggiori o vicini al 40%)

probabilmente sono presenti fattori che aumentano la variabilità. Si ricorre a tale indice anche quando si vuole confrontare la variabilità di più gruppi con medie diverse oppure con dati espressi in scale diverse. Esso è definito da:

$$CV = \frac{s}{|\bar{x}|} 100\%$$

(3.1.7)

Per evidenziare la forma della distribuzione sono utilizzate le cosiddette “misure di forme” come l’indice di asimmetria e di curtosi. Esse esprimono lo scostamento della distribuzione dei dati trovata rispetto a quella teorica. Le distribuzioni di frequenza possono assumere diverse forme, fra le più importanti sono quelle che assumono la forma a campana (unimodale) e sono dette distribuzioni normali o di Gauss. In questo caso la distribuzione è simmetrica, ciò implica che media, moda e mediana coincidono. Per valutare l’asimmetria di una distribuzione si possono utilizzare le misure dell’asimmetria sia assoluta sia relativa. Le prime si determinano mediante differenza tra media e moda. Se tale differenza è pari a zero, la curva è simmetrica; se è maggiore di zero, la curva è asimmetrica positiva (a destra); se è inferiore a zero, la curva è asimmetrica negativa (a sinistra). Per quanto concerne le seconde, le formule più utilizzate per la determinazione dell’indice di asimmetria (g_1) e di curtosi (g_2) sono le seguenti (18):

$$g_1 = \frac{n \sum x^3}{(n-1)(n-2)s^3}$$

(3.1.8)

$$g_2 = \frac{(n+1) n \sum x^4}{(n-1)(n-2)(n-3)s^4} - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}$$

(3.1.9)

In cui:

$$\sum x^3 = \sum_{i=1}^k f_i (\bar{x}_i - \bar{\bar{x}})^3$$

$$\sum x^4 = \sum_{i=1}^k f_i (\bar{x}_i - \bar{\bar{x}})^4$$

k = Numero di classi di frequenza

f_i = Frequenza della classe i

\bar{x}_i = Valore centrale della classe i

$\bar{\bar{x}}$ = Media generale del campione

S = Deviazione standard del campione

Se:

$g_1 < 0$ Asimmetria negativa

$g_1 > 0$ Asimmetria positiva

$g_2 < 0$ Platicurtosi (distribuzione eccessivamente appiattita, con code troppo corte)

$g_2 > 0$ Leptocurtosi (distribuzione eccessivamente alta, con code troppo lunghe)

3.2 Il test di Kolmogorov-Smirnov.

Il test non parametrico di Kolmogorov-Sminov (KS) è tra i più utilizzati nel caso di variabili continue. Esso ha la prerogativa di non richiedere la preventiva suddivisione dei dati in classi di frequenza poiché si basa sulla frequenza cumulativa relativa. Il test è utilizzato per:

1. Verificare la conformità di un campione di osservazioni a un modello teorico;
2. Confrontare due campioni.

Numerosi fenomeni continui seguono o possono essere opportunamente approssimati a una distribuzione normale. Una volta che è stata individuata la distribuzione sperimentale, occorre verificare l'ipotesi statistica che la popolazione da cui provengono i dati sia quella in esame. I metodi statistici utilizzati per tale scopo sono detti test di "bontà di adattamento". L'ipotesi statistica (ipotesi nulla, H_0) che si deve verificare è che la distribuzione empirica segua quella gaussiana. Il test fornisce la misura dello scostamento (D_n) tra la funzione di distribuzione empirica e quella ipotizzata. Per determinare se la differenza tra le due distribuzioni sia eccessiva rispetto ad un livello di significatività scelto, si fa riferimento a un valore critico tabellato. La procedura per applicare il test è illustrata come segue.

Si determina il valore massimo dalla relazione:

$$D_n = \max\{|F_n(x) - F(x)|\} \quad (3.2.1)$$

In cui:

D_n = Statistica del test Kolmogorov-Smirnov

$F_n(x)$ = Funzione di distribuzione empirica

$F(x)$ = Funzione di distribuzione ipotizzata

Il valore di D_n può assumere solo valori $D_n \in [0,1]$ e rappresenta la distanza maggiore tra la distribuzione osservata e quella teorica. Se assume valori molto piccoli, prossimi allo zero, l'ipotesi nulla (H_0 : non vi è una differenza significativa tra le due distribuzioni) non viene rigettata.

Inoltre il test, con un livello di significatività α , prevede la regione critica seguente:

$$C = (d_{1-\alpha}, 1] \quad (3.2.2)$$

In cui $d_{1-\alpha}$ è il quantile della distribuzione tale che: $P(D_n \leq d_{1-\alpha}) = 1 - \alpha$.

$$P(D_n \leq d_{1-\alpha}) = 1 - \alpha \quad (3.2.3)$$

In cui $d_{1-\alpha}$ si determina con opportune tavole.

Riassumendo:

3. Si determina il valore massimo di D_n e fissato α si individua dalle tavole $d_{1-\alpha}$;
4. Se $d_{1-\alpha} < D_n \leq 1$: l'ipotesi nulla viene rigettata perché il valore ricade nella zona critica;
5. Se $D_n \leq d_{1-\alpha}$: l'ipotesi nulla non viene rifiutata con il livello di significatività α scelto (19).

Inoltre se la quantità di dati è sufficientemente grande ($n \geq 20$), l'ipotesi nulla è da rigettare se il valore empirico della statistica D_n soddisfa la relazione:

$$\sqrt{n} d_n \geq \lambda_\alpha \quad (3.2.4)$$

In cui λ_α soddisfa la seguente identità:

$$K(\lambda_\alpha) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} (-1)^j e^{-2j^2 \lambda_\alpha^2} = 1 - \alpha \quad (3.2.5)$$

In cui n è la numerosità del campione e α rappresenta il valore di significatività, in genere pari al 5%, e $\lambda_{0,05}$ è valore critico tabellato che dipende da α e da numero di osservazioni. Pertanto se tale diseguaglianza non è rispettata, si può dedurre che i dati al livello di significatività α si adattano all'ipotesi fatta (20).

Inoltre tale test, come accennato in precedenza, è utilizzato non soltanto per verificare la normalità della distribuzione ma anche per confrontare due campioni di dati. In particolare è utile nei processi di costruzione e validazione di un modello per confrontare i risultati previsti (simulati) con quelli osservati. Pertanto se vi è una discrepanza tra i due, si può dedurre che il modello non è capace di rappresentare in maniera adeguata il fenomeno oggetto di studio. Il procedimento è come quello illustrato sopra con la variante nella (3.2.4) in cui:

$$n = \frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2} \quad (3.2.6)$$

In cui n_1 e n_2 sono le dimensioni dei due campioni (21).

Una verifica aggiuntiva alla procedura sopra esposta comporta il calcolo del p-value. Si procede con il calcolo del p-value dei dati empirici che rappresenta l'estremo inferiore che porta a rifiutare l'ipotesi nulla. Quest'ultima viene rifiutata se il livello di significatività α è maggiore del p-value, altrimenti H_0 non può essere rigettata. Pertanto valori elevati di p-value indicano un buon adattamento (22).

3.3 La regressione lineare multipla.

Il modello statistico è un'approssimazione della complessa realtà e perciò non è in grado di riprodurre in maniera fedele i legami e le interazioni che contraddistinguono il fenomeno che ci si prefigge di analizzare. Tuttavia tale tecnica statistica multivariata ha un duplice scopo: esplicativo, perché aiuta a comprendere gli effetti delle variabili indipendenti sulla variabile dipendente; predittivo, poiché consente di individuare una combinazione lineare di variabili indipendenti per predire il valore della variabile dipendente.

La regressione multipla lineare è un metodo utilizzato quando la variabile dipendente è continua e si distribuisce come una normale. L'elaborazione eseguita con tale metodo consente di adattare i dati in un'equazione lineare avente forma generale:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_p x_{pi} + \epsilon_i \quad (3.3.1)$$

In cui β_0 (*intercetta*), β_1, \dots, β_p prendono il nome di coefficienti o parametri del modello di regressione; x_1, x_2, x_p sono i valori assunti dalle variabili esplicative; ϵ_i è il termine di errore cioè la componente accidentale con valore atteso zero e varianza σ^2 . Inoltre il modello di regressione è lineare perché è lineare nei parametri ovvero i coefficienti sono semplici moltiplicatori delle variabili indipendenti. La stima dei coefficienti di regressione avviene mediante il metodo dei minimi quadrati, con il quale si assegnano a $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ i valori di b_0, b_1, \dots, b_p che rendono minima la quantità:

$$\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \text{minimo} \quad (3.3.2)$$

In cui Y_i rappresenta il valore osservato o empirico, invece \hat{Y}_i indica il valore stimato o teorico. Nel caso di regressione lineare multipla campionaria l'equazione (3.3.1) diventa:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 x_{1i} + b_2 x_{2i} + \dots + b_p x_{pi} \quad (3.3.3)$$

Il coefficiente b_p misura la variazione media di Y quando x_p varia di una sola unità e le altre variabili indipendenti rimangono costanti. In virtù di questo significato i coefficienti b_i sono anche chiamati coefficienti di regressione parziali, per porre l'accento sulla differenza con il coefficiente di regressione lineare semplice che è indicata come coefficiente di regressione totale.

Tecniche per la selezione delle variabili esplicative.

La tecnica della regressione multipla è utilizzata quando si hanno a disposizione due o più variabili indipendenti. Questo comporta che si possono ottenere numerosi modelli per cui è difficile individuare quello che meglio approssima la distribuzione dei dati. Esistono tre procedure per selezionare il modello e quindi i predittori:

1. Selezione in avanti (forward selection) in cui le variabili indipendenti sono aggiunte una alla volta sulla base della significatività ($\alpha = 0,05$). Una volta inclusa la variabile indipendente nell'equazione, questa vi rimane, anche se l'aggiunta delle successive implica che il suo coefficiente non è più significativo al livello scelto.
2. Selezione all'indietro (backward deletion) consiste nell'inserire simultaneamente tutte le variabili indipendenti nell'equazione di regressione. Successivamente si eliminano quelle che non contribuiscono significativamente alla regressione. Una volta esclusa, la variabile esplicativa non può più essere reinserita.
3. Selezione graduale (stepwise) è la procedura più utilizzata ed è una combinazione dei due procedimenti suddetti. Infatti, si articola anch'essa in più fasi in ciascuna delle quali si applica la selezione in avanti per decidere quale variabile includere e una selezione indietro per decidere quale eliminare. Tuttavia, a differenza degli altri due metodi, tale procedura ha il vantaggio che quando una variabile è inclusa può essere eliminata in seguito, oppure quando la variabile è scartata, può essere reintrodotta nel modello in base al valore di significatività che assume (23).

Bontà di adattamento del modello (Goodness Of Fit, GOF).

Una volta costruito il modello è necessario verificare la bontà del modello attraverso due misure (il coefficiente di determinazione, e il coefficiente di determinazione aggiustato), e la verifica delle ipotesi del modello (test F di Fisher) e dei singoli predittori (test t di Student). L'indice più comunemente utilizzato per testare la bontà di un modello è il coefficiente di determinazione (R^2). Tuttavia, secondo alcuni studiosi, tale indice non fornisce

informazioni sulla bontà bensì dà un'indicazione sintetica sulla qualità di approssimazione imposta dal modello e quindi può essere definito come una misura di prestazione del modello (24). Il coefficiente di determinazione è definito come la proporzione di variazione totale che è spiegata dalla variabile dipendente ed è calcolato come segue:

$$R^2 = \frac{SST - SSE}{SST} = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (3.3.4)$$

In cui:

$$SSE = \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

Somma dei quadrati dovuti all'errore (residui): rappresenta la quota di variabilità residua non spiegata dalla retta e misura la distanza delle osservazioni dalla retta di regressione.

$$SSR = \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2$$

Somma dei quadrati dovuta allo specifico modello di regressione: è la devianza di regressione cioè la quota di variabilità di Y spiegata dal modello.

$$SST = SSE + SSR = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad \text{Somma dei quadrati totali}$$

Il valore di R^2 varia tra zero, in assenza di relazione statistica tra la variabile dipendente e quelle indipendenti ($SSR=0$), e uno quando invece vi è una perfetta dipendenza ($SSE=0$, $SSR=SST$). Tuttavia nelle applicazioni reali è difficile riscontrare tali situazioni estreme, infatti, tale indice assume valori intermedi. Pertanto si può affermare che tanto più esso è elevato, tanto è maggiore la dipendenza tra la variabile dipendente e quelle indipendenti. Lo svantaggio di questo indice è che, nel caso della regressione multipla, il suo valore tende ad aumentare man mano che si aggiungono le variabili indipendenti, anche se quest'ultime non hanno un effetto significativo sulla variabile di risposta. Per ovviare tale problema quindi si fa riferimento al coefficiente di determinazione

aggiustato o corretto (R^2_{adj}) ovvero un indice che è ottenuto dall' R^2 ma depurato dal numero di predittori, definito come:

$$R^2_{adj} = 1 - \left(\frac{n-1}{n-p} \right) \frac{SSE}{SST} \quad (3.3.5)$$

In cui n è il numero di osservazioni e p è il numero di regressori utilizzati per la costruzione del modello. L'interpretazione del valore che può assumere l' R^2 aggiustato è analoga a quella dell' R^2 .

Per appurare la bontà del modello è indispensabile anche testare la significatività statistica del modello nel suo insieme attraverso la verifica delle ipotesi. Il test statistico che consente di fare ciò è detto *test di Fischer* o semplicemente *test F*. Il test consente di verificare se esiste un legame effettivo tra la variabile dipendente e i regressori:

$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_p = 0$	(Non esiste una relazione lineare tra la variabile dipendente e almeno una delle variabili esplicative).
$H_1: \text{almeno un } \beta_p \neq 0$	(Vi è una relazione lineare tra la variabile dipendente e almeno una delle variabili esplicative).

La statistica F è calcolata come segue:

$$F^* = \frac{SSR/p}{SSE/n-p-1} \quad (3.3.6)$$

L'ipotesi nulla viene rigettata se, a un prefissato livello di significatività α (in genere si sceglie $\alpha=0,05$), la F^* è maggiore del valore della F di Fisher tabulato (valore critico)³ (25).

Una verifica aggiuntiva riguarda i coefficienti di regressione ed è eseguita mediante l'inferenza sui parametri del modello. Tale verifica è chiamata anche parziale o marginale poiché misura il contributo che ogni variabile

^{3 4} In alternativa si può utilizzare l'approccio del p-value detto anche livello di significatività osservato. Se il p-value è maggiore o uguale a α , l'ipotesi alternativa viene rifiutata; se il p-value è minore di α , l'ipotesi nulla è rifiutata.

indipendente offre al modello supponendo che tutte le altre siano anch'esse incluse. Per verificare se le singole variabili esplicative contribuiscano a spiegare le variazioni della variabile dipendente si applica il *test t* di *Student* come segue:

$H_0: b_p=0$ (la variabile esplicativa ha effetto sulla variabile dipendente).

$H_1: b_p \neq 0$ (la variabile esplicativa non ha effetto sulla variabile dipendente).

$$t^* = \frac{\hat{b}_p}{\hat{s}_{\hat{b}_p}} \quad (3.3.7)$$

In cui \hat{b}_p è il coefficiente di regressione e $\hat{s}_{\hat{b}_p}$ è l'errore standard dello stesso. L'ipotesi nulla è rigettata se, a un prefissato livello di significatività α (in genere si sceglie $\alpha=0,05$), la t^* è maggiore del valore critico $t_{\alpha/2, n-p-1}$ tabellato⁴. Inoltre per ciascun coefficiente angolare si definisce l'intervallo di confidenza bilaterale⁵ $(100-\alpha)\%$ che è un indicatore della precisione delle misurazioni. Descrive un insieme di valori all'interno del quale molto probabilmente ricade il valore "vero" ed è calcolato utilizzando il valore osservato. L'intervallo di confidenza si basa sul presupposto che la misura di un campione non sarà mai la stessa qualora venga ripetuta su altri campioni. Questo genera un'imprecisione gestibile in modo probabilistico se il campione è casuale. Quindi fissato un livello di significatività $\alpha=5\%$ il livello di confidenza è pari al 95%, ciò significa che l'intervallo di confidenza fornisce un risultato aderente alla realtà nel 95% dei casi. Esso viene calcolato come (26) (27):

$$\hat{b}_p - t_{\frac{\alpha}{2}, n-p} \hat{s}_{\hat{b}_p} \leq \hat{b}_p \leq \hat{b}_p + t_{\frac{\alpha}{2}, n-p} \hat{s}_{\hat{b}_p} \quad (3.3.8)$$

⁵ Il livello di confidenza bilaterale specifica un limite sia inferiore sia superiore.

Verifica di assenza di collinearità tra le variabili indipendenti.

La regressione multipla implica il coinvolgimento di due o più variabili indipendenti e può accadere che tra queste vi sia dipendenza cioè un'elevata correlazione. In questa circostanza si dice che esiste una multicollinearità che può portare a una stima dei parametri errata. Per determinare la presenza di correlazione tra variabili esplicative è consuetudine utilizzare il VIF (Variance Inflation Factor):

$$VIF_j = \frac{1}{1 - R_j^2}$$

(3.3.9)

In cui R_j^2 è il coefficiente di determinazione del modello di regressione in cui la variabile x_j dipende dalle altre $k-1$ variabili esplicative, pertanto si avrà per ogni regressore un valore del VIF. Il valore minimo che può assumere tale indice è pari a uno e ciò indica assenza di multicollinearità, se supera il valore dieci, invece, si sospetta la presenza di forte correlazione (26).

3.4 Analisi diagnostica.

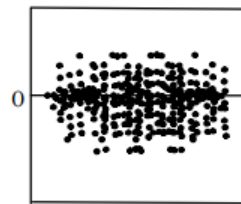
Le analisi diagnostiche nell'ambito del modello di regressione sono tecniche che, applicate al "modello finale", consentono di valutare l'adeguatezza dello stesso e pertanto sono volte all'individuazione di eventuali problemi che possono essere legati al modello o ai dati. Questo tipo di approccio consente inoltre di verificare le assunzioni del modello di regressione mediante l'analisi dei residui e può essere schematizzato come segue:

- Verifica della linearità del fenomeno misurato.
- Verifica della costanza della varianza dei residui (omoschedasticità).
- Verifica dell'indipendenza dei termini dei residui.
- Verifica della normalità distributiva dei residui.
- Identificare l'eventuale presenza di:
 - Osservazioni anomale rispetto alla variabile di risposta (outlier);
 - Osservazioni anomale rispetto alle variabili esplicative (punti di leverage);
 - Osservazioni influenti (distanza di Cook).

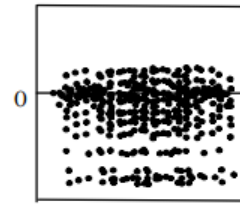
Tali verifiche sono eseguite mediante ispezione grafica dei residui e_i :

$$e_i = (Y_i - \hat{Y}_i) \quad (3.4.1)$$

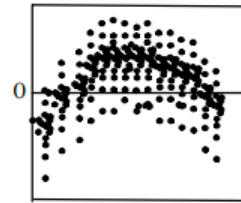
In cui Y_i sono i valori osservati e \hat{Y}_i i valori predetti. In genere i residui hanno la media nulla ma non la varianza costante e questo può essere un inconveniente nell'analisi diagnostica. Per ovviare a tale problema si ricorre o alla standardizzazione o studentizzazione dei residui. Nella figura sottostante sono riportati i casi più frequenti di violazione delle ipotesi e il caso in cui sono rispettate.



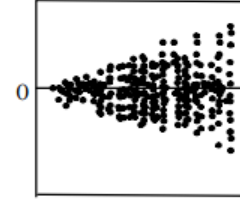
1. Assunzioni rispettate



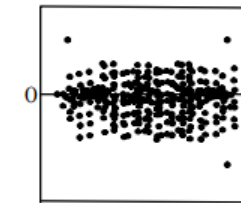
2. Non normalità



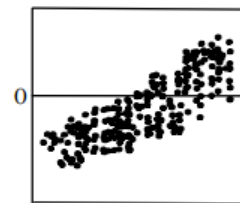
3. Non linearità



4. Eteroschedasticità



5. Casi estremi



6. Autocorrelazione

Nei riquadri 1-5: Punteggi predetti Y' : in ascisse; Residui $(Y-Y')$: in ordinate.

Nel riquadro 6: Tempo o ordine di acquisizione: in ascisse; Residui $(Y-Y')$: in ordinate.

Figura 4: grafico dei residui.

(Fonte: <http://www.psicologia1.uniroma1.it/repository/153/regressione.multiplo.pdf>)

Verifica della linearità.

I modelli di regressione sono lineari nei parametri, ma le variabili esplicative possono comparire in qualsiasi forma. Per verificare l'adeguatezza del modello, si utilizzano in genere i grafici come i diagrammi a dispersione (scatter plot) della variabile di risposta contro le variabili esplicative, oppure i residui contro i valori teorici della

variabile di risposta o le variabili esplicative. Per avvalorare l'ipotesi di linearità il grafico deve mostrare una dispersione casuale dei punti e non presentare una particolare struttura.

Verifica della costanza della varianza dei residui (omoschedasticità).

La presenza di eteroschedasticità, cioè di varianze non uguali nei termini di errore, si ha quando le distribuzioni dei residui assumono una forma triangolare o a ventaglio. Pertanto l'ipotesi di omoschedasticità è rispettata quando i punti occupano un'area omogenea.

Verifica dell'indipendenza dei termini dei residui.

L'indipendenza delle osservazioni dipende dal tipo di campionamento e la sua verifica è effettuata quando i dati sono rilevati in successione cronologica. Si può manifestare un fenomeno di autocorrelazione temporale causato dall'inerzia o stabilità dei valori osservati, per cui ogni valore è influenzato da quello che lo precede e lo stesso condiziona quello successivo.

Verifica della normalità dei residui.

La verifica della normalità dei residui è eseguita in genere mediante tre metodi:

1. Grafico dei residui standardizzati: in caso di normalità il 95% dei valori deve essere compreso tra $[-2$ e $+2]$ (26).
2. L'istogramma dei residui standardizzati dovrebbe presentare la forma simile alla normale gaussiana. Si utilizzano metodi non parametrici come quello descritto nel paragrafo 3.2 per verificare la condizione di normalità;
3. Un'ulteriore analisi grafica è quella della probabilità normale (normal probability quantile-quantile, QQ-plot) in cui vengono messi in relazione i residui in forma di probabilità. In particolare i residui vengono confrontati con la distribuzione normale. Quest'ultima è rappresentata con una retta bisettrice nel primo

e terzo quadrante attraverso la quale si effettua il confronto: se la distribuzione è normale i residui si disporranno lungo la bisettrice.

Anomalie e osservazioni influenti.

Nell'analisi dei residui, i punti anomali (outliers) sono identificati da punti isolati e molto distanti dagli altri. La presenza di tali valori può avere effetti rilevanti sulle stime di regressione. Quindi se essi sono presenti, è necessaria un'ulteriore indagine per capire se essi siano dovuti a errori di rilevazione o se la causa sia imputabile ad altre circostanze. Nella figura 4 riquadro 5 ad esempio sono presenti tre punti isolati identificabili come outliers.

I valori d'influenza (Leverage values) o punti di leva sono un indice dell'influenza potenziale di un dato sulla bontà di adattamento del modello di regressione ai dati. Tali indici variano tra zero (nessuna influenza) e $n/(n-1)$ (massima influenza). Si avranno osservazioni influenti se:

$$h_i > \frac{2(k+1)}{n} \quad (3.4.2)$$

In cui h_i è il valore di Leverage per la i -esima osservazione k è il numero di variabili (esclusa l'intercetta).

Le osservazioni influenti sono determinate mediante l'indice di Cook che è una misura di quanto i residui di tutti i casi varierebbero se un specifico dato fosse escluso dalla stima dei parametri. Un valore elevato indica una variazione sostanziale nei coefficienti di regressione se quel dato fosse incluso nell'analisi (25). La distanza di Cook (D_i) è data dalla relazione:

$$D_i = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n MSE} \quad (3.4.3)$$

In cui:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n - k} \quad (3.4.4)$$

MSE = scarto quadratico medio (mean squared error)

n = Dimensione del campione

k = Numero di parametri del modello

Ci sono varie opinioni circa l'interpretazione del valore di D_i . Secondo alcuni valori di $D_i > 1$ sono da considerare potenziali valori influenti (28).

3.5 Validazione del modello.

La procedura di validazione del modello è l'ultimo passo dell'iter di costruzione del modello. È spesso confusa con la tecnica di bontà di adattamento del modello (GOF). In genere con la terminologia “validazione” del modello s'indica il processo di verifica che consente di testare la capacità predittiva su un nuovo campione estratto dalla popolazione (25). Esistono due metodi per la validazione:

1. Si utilizza un secondo campione per costruire un nuovo modello da confrontare con quello determinato precedentemente. Il confronto può riguardare ad esempio la significatività delle variabili indipendenti, il loro segno, la capacità predittiva etc. Tuttavia tale procedimento richiede costi e tempi elevati.
2. Si utilizza un sotto campione, in genere di ridotta dimensione rispetto a quello utilizzato per la costruzione del modello. Si applica il modello costruito al nuovo set di dati, non utilizzati per la costruzione del modello, e si confrontano i risultati simulati con quelli osservati mediante test statistici come quello descritto nel paragrafo 3.2. Se vi è una differenza significativa tra i valori simulati e quelli osservati si può evincere che il modello non riesce a predire adeguatamente il fenomeno oggetto di interesse.

Inoltre è importante sottolineare che l'algoritmo di regressione non costituisce il modello assoluto salvo che non sia stato stimato sulla popolazione.

4. Metodologia.

Il presente capitolo è volto a illustrare la procedura attuata per l'indagine sperimentale che comprende la selezione dei siti d'interesse, l'esecuzione della campagna di monitoraggio delle velocità praticate dai guidatori in strade urbane a doppia corsia per senso di marcia, l'acquisizione, la gestione e analisi dei dati.

4.1 Selezione dei siti d'interesse.

La ricerca si basa sullo studio di tronchi omogenei di strade urbane (a carreggiata unica o doppia e con due o tre corsie per senso di marcia); in particolare l'elemento del tracciato planimetrico d'interesse è il rettilifo.

Dall'analisi dell'incidentalità della città di Cagliari sono state individuate le strade in cui i sinistri si sono verificati più frequentemente la cui descrizione è riportata nel seguito.

- Viale Diaz: due carreggiate separate da spartitraffico, distinte per senso di marcia. Si è presa in considerazione solo la carreggiata con tre corsie una delle quali è dedicata al transito dei mezzi pubblici e taxi.



Figura 5: Viale Diaz (Fonte Google Maps).

Come si può evincere dalla figura sottostante, lo spartitraffico, arredato a verde, è interrotto in modo da consentire ai veicoli di invertire il senso di marcia.



Figura 6: Viale Diaz, particolare dello spartitraffico (Fonte Google Maps).

- Viale del Poetto: due carreggiate separate da spartitraffico continuo, arredato a verde, distinte per senso di marcia e aventi entrambe tre corsie, una delle quali è adibita al transito dei mezzi pubblici e taxi.



Figura 7: Viale del Poetto (Fonte Google Maps).



Figura 8: Viale del Poetto (Fonte Google Maps).

- Via Lungo Saline: carreggiata unica con due corsie per senso di marcia. I due sensi di marcia sono separati da uno spartitraffico privo d'isola, quindi sormontabile, e indicato mediante segnaletica orizzontale.



Figura 9: Via Lungo Saline (Fonte Google Maps).

- Via Marconi: carreggiata unica con due corsie per senso di marcia separate mediante segnaletica orizzontale da strisce longitudinali.



Figura 10: Viale Marconi (Fonte Google Maps).

- Viale Elmas: una carreggiata a senso unico con due corsie. La strada è caratterizzata dalla presenza, a lato sinistro della corsia di sorpasso, di un'intersezione con una strada secondaria.



Figura 11: Viale Elmas (Fonte Google Maps).

- Viale Monastir: una carreggiata a senso unico con due corsie. In entrambi i lati delle corsie sono presenti aree di sosta. In più, a lato destro della corsia di marcia è presente un'intersezione con una strada secondaria.



Figura 12: Viale Monastir (Fonte Google Maps).

- Viale Colombo: due carreggiate separate da spartitraffico distinte per senso di marcia. Entrambe le carreggiate sono caratterizzate dalla presenza, a lato destro del senso di marcia, di aree di sosta.



Figura 13: Viale Colombo (Fonte Google Maps).

Come, per il caso di Viale Diaz, lo spartitraffico, arredato a verde, è interrotto in modo da consentire ai veicoli di invertire il senso di marcia. Inoltre una delle carreggiate è caratterizzata dall'intersezione con una strada secondaria.



Figura 14: Viale Colombo, particolare dello spartitraffico (Fonte Google Maps).

- Via Peretti: due carreggiate separate da spartitraffico continuo, arredato a verde, distinte per senso di marcia e aventi entrambe due corsie.



Figura 15: Via Peretti (Fonte Google Maps).

- Via Is Mirrionis: carreggiata unica con due corsie per senso di marcia separate mediante segnaletica orizzontale da strisce longitudinali. Inoltre sono presenti in entrambe le direzioni di marcia le aree di sosta.



Figura 16: Via Is Mirrionis (Fonte Google Maps).

Per quanto riguarda la classificazione va specificato quanto segue. Il Decreto n° 6792 del 2001 classifica tale viabilità come strade di tipo E (urbane di quartiere) e di tipo F (locali in ambito urbano), associando oltre che caratteristiche geometriche e di progetto, una specifica funzione all'interno della rete urbana. Va però detto che la complessità dei centri urbani conurbati italiani impedisce tale classificazione dato che, nella maggior parte dei casi, la funzione svolta dall'arco stradale dipende dalla sua localizzazione all'interno dell'area e del suo utilizzo, elementi che sono indipendenti dalle dimensioni fisiche dell'infrastruttura. Quindi le strade scelte per lo studio possono essere suddivise in tre gruppi:

- Tronchi che svolgono la funzione di collegamento tra viabilità di ordine superiore (assimilabili a strade di scorrimento) o di scambio tra differenti quartieri della stessa area urbano. Tali strade sono contraddistinte da flussi veicolari che raggiungono i valori maggiori soprattutto nelle ore di punta. Quindi esse svolgono la funzione di scambio tra ambito extraurbano e quello urbano.

- Tronchi che svolgono la funzione di distribuzione del traffico all'interno di porzioni dell'area urbana o di collegamento interno allo stesso quartiere. Il traffico è inferiore alla categoria precedente in quanto servono spostamento a minore distanza.

Individuazione delle sezioni da prendere in esame.

Per ognuna delle suddette strade si sono individuate le sezioni di rilievo. Per determinare tali sezioni si è partiti da alcune considerazioni presenti in letteratura. Secondo alcuni ricercatori, se si vuole studiare la velocità dei veicoli in relazione alle caratteristiche geometriche dell'infrastruttura stradale, è opportuno scegliere la sezione di rilievo sufficientemente distante dalle interferenze (presenza di sistemi di arresto) che influenzano la percorrenza in rettilineo. Alcuni studiosi sostengono che, per strade si scorrimento, sia sufficiente una distanza di 200 metri dalle curve e di 300 metri dai segnali di arresto (stop) (29). Altri sostengono che per strade extraurbane, per eliminare gli effetti dei dispositivi di controllo del traffico, sia sufficiente una distanza di 200 metri tra la sezione di studio e l'intersezione. Altri ricercatori suggeriscono una distanza di almeno 500 metri tra la sezione di studio e l'intersezione (30). Quindi inizialmente per tener conto di queste interferenze si è deciso di far riferimento a quanto prescritto dal Decreto Ministeriale n. 6792 del 5 novembre 2001 per quanto concerne la distanza di visibilità di arresto e la lunghezza dei tratti di variazione cinematica in decelerazione o accelerazione. Per la prima lunghezza, dato che tutte le strade presentano una pendenza longitudinale costante si è deciso di utilizzare il diagramma presente nel Decreto fissando come velocità quella massima di progetto prevista per la strada oggetto di studio. La seconda lunghezza, secondo il Decreto, è ottenibile mediante la seguente espressione:

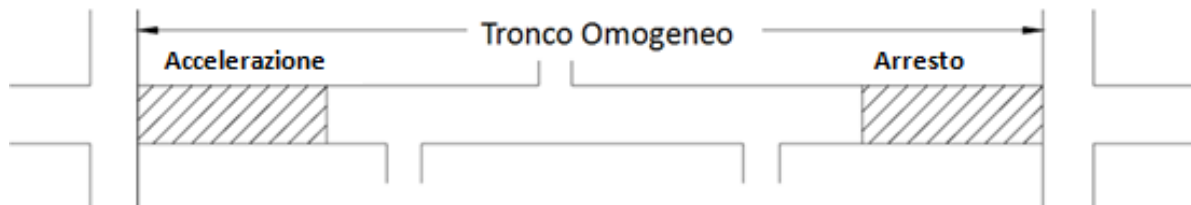
$$L = \frac{v_1^2 - v_2^2}{2a}$$

In cui:

- L rappresenta la lunghezza necessaria per la variazione cinematica;
- v_1 è la velocità di ingresso nel tratto di decelerazione o accelerazione;

- v_2 è la velocità di uscita dal tratto di decelerazione o accelerazione;
- a è l'accelerazione, assunta per la manovra.

Per v_1 si è assunto la velocità di progetto nel punto di inizio del tratto di accelerazione; per v_2 si è assunto il valore corrispondente all'80% della velocità di progetto della strada sulla quale la corsia si immette.



Questo metodo è indicativo poiché non fornisce una distanza tale da garantire un'influenza minima dei segnali di arresto. Inoltre applicando tale metodo si sono trovate distanze inferiori a 200 metri quindi minori anche a quanto riportato dalla letteratura scientifica. Pertanto laddove è stato possibile, si è preferito utilizzare distanze uguali o maggiori di 200 metri per ridurre al minimo le possibili influenze causate dalla presenza di impianti semaforici, segnali di stop e segnali di precedenza in prossimità di rotatorie. Applicando questo criterio si sono quindi individuate le sezioni di studio che caratterizzate tutte da una lunghezza che varia tra i 100 e 150 metri.

4.2 Strumentazione e raccolta dati.

Lo strumento a disposizione per il rilevamento di tutte le grandezze relative al traffico veicolare è il Radar EasyData. Sono state inoltre utilizzate videocamere digitali per analizzare i reali comportamenti degli utenti e per individuare fattori interni ed esterni alla corrente veicolare in grado di influenzare il comportamento di guida al di là dei disturbi legati all'organizzazione stradale. Il dispositivo, impiegato per il rilevamento dei veicoli, si compone del sistema di rilevamento a microonde, del software di scaricamento dei dati rilevati, di una batteria ricaricabile e di supporti per l'installazione. Il misuratore di velocità sfrutta l'effetto doppler attraverso un sensore a microonde con frequenza 24,125 GHz. L'effetto doppler è un cambiamento apparente della frequenza di un'onda percepita da un osservatore che si trova in movimento rispetto alla sorgente che resta fissa. Quindi il

senso invia un segnale che viene riflesso dall'oggetto in movimento con uno scostamento detto frequenza doppler. La frequenza è proporzionale alla velocità dell'oggetto in movimento. Inoltre tale frequenza, generata da trasmettitori integrati ad alta frequenza, non fornisce indicazioni relative al senso di percorrenza del moto. Per determinare la direzione del movimento viene utilizzato un sistema a due canali o stereo (31).



Figura 17: rilevatore radar EasyData (Fonte <http://www.ststraffic.it>).

Le apparecchiature utilizzate per la campagna di monitoraggio sono due radar e una videocamera. Nella figura sottostante è riportato lo schema tipo utilizzato per i rilievi.

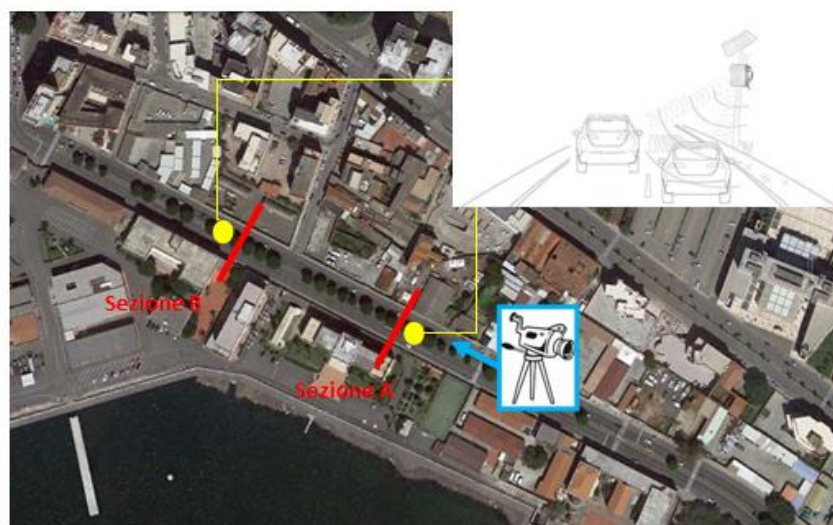


Figura 18: schema di rilievo per Viale Colombo.

Le stazioni di misura sono state installate a bordo strada ad un'altezza di 2.20 metri su postazioni di tipo fisso come i pali dell'illuminazione pubblica o i pali della segnaletica stradale. Invece la videocamera è stata sistemata a un'altezza di circa un metro all'interno del tronco in modo tale che fosse visibile l'intera sezione di rilievo. Inoltre la videocamera è stata opportunamente occultata in quanto la sua visibilità avrebbe potuto influenzare i guidatori, alterando la velocità durante l'attraversamento della sezione e quindi falsando la relativa misurazione. Per ciascun passaggio veicolare sono stati registrati:

- Data (giorno/mese/anno);
- Istante (ora/minuti/secondi);
- Velocità istantanea (km/h);
- Lunghezza del veicolo (metri);
- Direzione di marcia.

I dispositivi gestiscono un notevole numero di passaggi e presentano un'elevata autonomia, tuttavia tali apparecchiature non sono esenti da imperfezioni di misurazione e limitazioni. Pertanto si sono riscontrati le seguenti irregolarità e limiti degli strumenti:

- Non viene segnalata la posizione nel veicolo all'interno della carreggiata: non è specificato la corsia (di marcia o di sorpasso) lungo la quale transita il veicolo;
- Anomalia nella misurazione della lunghezza del veicolo quando si verificano passaggi troppo ravvicinati (inferiori al secondo);
- Classificazione errata dei veicoli: alcune autovetture di lunghezza inferiore a quelle standard (smart, citycar) vengono classificate come motocicli date le loro dimensioni ridotte;
- Quando nella corsia, adiacente al supporto in cui è stato installato il radar, transita un veicolo la cui altezza è maggiore o uguale a quella del veicolo che viaggia nell'altra corsia nello stesso istante, le grandezze di quest'ultimo non vengono rilevate (figura 16b);
- Fornisce esclusivamente la velocità istantanea dei veicoli.

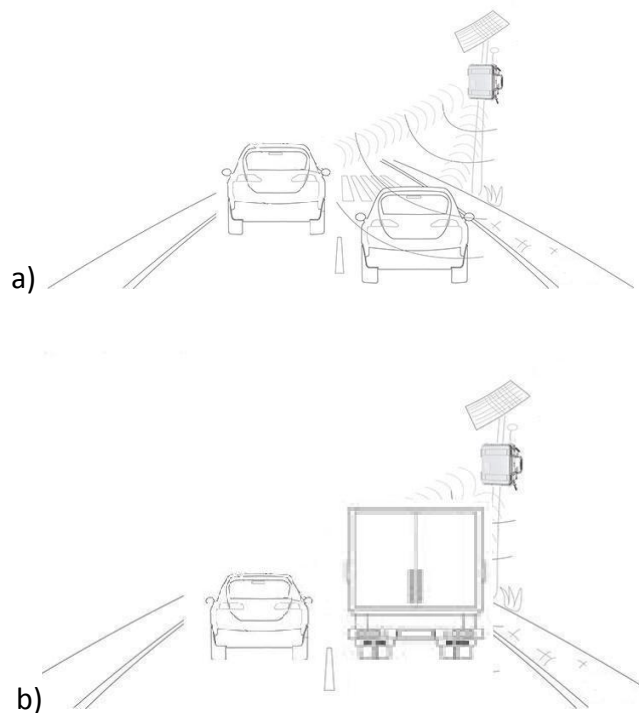


Figura 19: a) rilevamento corretto dei veicoli; b) anomalia di misurazione.

Per ovviare ai problemi sopracitati è stato necessario revisionare, mediante l'ausilio delle immagini video, i dati ottenuti. Quindi nella fase di confronto si sono annotati i dati anomali i quali sono stati opportunamente corretti o eliminati.

La campagna di monitoraggio è stata effettuata su 9 strade urbane del Comune di Cagliari per un totale di 13 sezioni rilevate. La raccolta dei dati è stata eseguita in condizioni meteorologiche buone, durante le ore diurne (8,00-12,00 e 16,00-18,00) per un totale di sei ore per ciascuna sezione ad eccezione di Via Lungo Saline per la quale è stato possibile eseguire otto ore di rilievo diurno. In particolare per ogni strada i rilievi sono stati eseguiti nei giorni della settimana lavorative in modo casuale escludendo sabato, domenica, giorni festivi, giorni di sciopero dei mezzi pubblici, giorni in cui erano previsti lavori stradali e manifestazioni di vario genere nelle strade oggetto di studio o in prossimità delle stesse.

4.3 Acquisizione ed elaborazione dati.

Per ognuna delle sezioni oggetto di studio si è predisposto un database in cui sono stati numerati i veicoli della sezione d'ingresso e della sezione di uscita al tronco stradale in esame. A ciascun veicolo sono stati associati manualmente l'orario di transito nella sezione di entrata e quello nella sezione di uscita rilevato dagli strumenti, al fine di calcolare il tempo di percorrenza del tratto stradale di studio, necessario per la determinazione della velocità media spaziale. Inoltre ad ognuno di essi è stato associato uno o più codici numerici. Quest'ultimi descrivono sia la tipologia di veicolo (autovetture, motocicli, mezzi pesanti, etc.) che il comportamento del conducente all'interno della sezione in esame (corsia di viaggio, cambiamenti di corsia, influenza dovuta dall'attraversamento pedonale, etc.). Infine si sono annotate tutte le anomalie riscontrate che riguardano non soltanto gli errori strumentali accennati in precedenza ma anche tutti quei comportamenti che non sono oggetto di studio (influenza dovuta alla presenza dei radar, infrazioni del Codice della Strada, etc.).

Tipologia di veicolo.	
Codice	
-	Autovetture.
24	Autovettura con rimorchio.
4	Motocicli.
5	Autoarticolati.
13	Mezzi di trasporto pubblico.
19	Mezzi pesanti.
20	Biciclette.
21	Lava strade.
31	Veicolo in stato di emergenza (ambulanze, camion dei VVFF, etc.).
Comportamento dei guidatori.	
0	Il veicolo viaggia nella corsia Bus.
1	Il veicolo viaggia nella corsia di marcia.
2	Il veicolo viaggia nella corsia di sorpasso.
14	Il veicolo effettua il cambio di corsia: c. Bus – c. di marcia.
15	Il veicolo effettua il cambio di corsia: c. di marcia – c. di sorpasso.
16	Il veicolo effettua il cambio di corsia: c. di sorpasso – c. di marcia.
17	Il veicolo parcheggia.
18	Il veicolo esce dal parcheggio.

7	Il veicolo s’immette nella corrente veicolare.
8	Il veicolo esce dalla corrente veicolare.
9	Rallenta a causa dell’attraversamento del pedone.
Anomalie.	
10	Sosta in doppia fila.
11	Esce dalla sosta in doppia fila.
12	Il radar rileva due macchine contemporaneamente.
22	Il conducente è influenzato dalla presenza dei radar.
23	Infrazione da parte del conducente del Codice della Strada.
25	Il veicolo entra in un accesso privato (passo carrabile).
26	Il veicolo esce da un accesso privato (dal passo carrabile).
30	Uno dei due radar non rileva il veicolo.

Tabella 1: Codici identificativi della tipologia di veicolo e del comportamento del conducente.

Nella tabella che segue, è riportato a titolo esemplificativo l’organizzazione del database.

L sez. m	Velocità istantanea Km/h		Tempo h.mm.ss		Δt h.mm.ss	Velocità media spaziale Km/h	Lunghezza veicolo m	Numero veicolo		Codici: Tipologia veicolo Comportamento Guidatore				corsia di marcia	
	Sez. A	Sez. b	Sez. A	Sez. B				Sez. A	Sez. B	Sez. A	Sez. A	Sez. B	Sez. B	Sez. A	Sez. B
103															
	33	30	9.23.15	9.23.27	0.00.12	30,90	11.000	501	501	13		13		0	0
	59	52	9.23.26	9.23.33	0.00.07	52,97	2.200	504	504	4		4		1	1
	56	60	9.23.37	9.23.43	0.00.06	61,80	4.200	505	505	-		-		2	2
	40	45	9.24.18	9.24.28	0.00.10	37,08	4.200	506	506	-		-		1	1
	41	47	9.24.29	9.24.39	0.00.10	37,08	4.200	507	507	-		-		1	1
	45	49	9.24.37	9.24.46	0.00.09	41,20	4.700	508	508	-		-		1	1
	44	53	9.24.43	9.24.52	0.00.09	41,20	4.500	509	509	-		-		1	1
	51	55	9.24.50	9.24.57	0.00.07	52,97	8.000	510	510	19		19		1	1
	49	54	9.24.52	9.24.59	0.00.07	52,97	4.200	511	511	4		4		1	1

Tabella 2: esempio di organizzazione del database.

Una volta che predisposto il database, si è proceduto con il controllo e l’elaborazione dei dati. Una prima verifica è stata quella di controllare che le anomalie riferite all’ora non superassero il 10% per impedire che queste potessero influire sulla qualità delle informazioni e alterare il risultato finale. Questo meccanismo di verifica ha portato all’esclusione di alcune sezioni, soprattutto quelle che hanno registrato un flusso orario superiore a 1200

v/h e per le quali si sono riscontrate anomalie superiori a quanto stabilito. Nella tabella sottostante sono riportati i veicoli rilevati per ciascuna sezione di rilievo.

Denominazione strada	Totale veicoli rilevati		
	Sezione d'ingresso (A)	Sezione d'uscita (B)	Flusso medio orario
1. Viale Elmas (direzione Via Sant'Avendrace)	7.650	7.196	1200
2. Viale Monastir (direzione Via Sant'Avendrace)	6.387	6.013	1033
3. Via Peretti (direzione Via Brotzu)	8.526	8.478	1417
4. Viale Colombo (direzione Via Roma)	7.000	7.670	1223
5. Viale Colombo (direzione Via Pessagno)	6.596	7.047	1136
6. Viale Lungo Saline (lungomare)	5.465	5.489	911
7. Viale Poetto (direzione Via Diaz)	9.359	9.404	1563
8. Viale del Poetto (direzione lungomare)	5.490	5.460	911
9. Via Is Mirrionis (direzione Via Campania)	7.119	12.214	1611
10. Via Is Mirrionis (direzione Via San Michele)	7.238	4.293	960
11. Viale Diaz (direzione Viale Poetto)	3.594	3.922	626
12. Viale Marconi (direzione Quartu Sant'Elena – Cagliari)	13.923	13.808	2300
13. Viale Marconi (direzione Cagliari - Quartu Sant'Elena)	6.785	6.767	1116
Totale veicoli rilevati	95.132	97.761	

Tabella 3: flussi veicolari registrati nelle due sezioni di rilievo.

Per le restanti sezioni a limite della percentuale di anomalie si è eseguita una successiva verifica nei cinque minuti e si sono esclusi solo i cinque minuti con una percentuale di anomalie maggiore al 10%. Quest'analisi è stata necessaria per garantire la veridicità delle grandezze rilevate senza le quali non è possibile dare un contributo efficace all'implementazione di nuovi modelli predittivi.

Riassumendo, le strade urbane considerate per lo studio sono quelle riportate nella seguente tabella.

Denominazione strada	Totale veicoli rilevati		
	Sezione d'ingresso (A)	Sezione d'uscita (B)	Flusso medio orario
1. Viale Elmas (direzione Via Sant'Avendrace)	7.650	7.196	1200
2. Viale Monastir (direzione Via Sant'Avendrace)	6.387	6.013	1033
3. Viale Colombo (direzione Via Pessagno)	6.596	7.047	1136
4. Viale Lungo Saline (lungomare)	5.465	5.489	911
5. Viale del Poetto (direzione lungomare)	7.312	7.282	911
6. Viale Diaz (direzione Viale Poetto)	3.594	3.922	626
7. Viale Marconi (direzione Quartu Sant'Elena – Cagliari)	6.785	6.767	1116
Totale veicoli rilevati	43.791	43.716	

Tabella 4: flussi veicolari delle strade urbane esaminate.

4.4 Le velocità.

La ricerca si è sviluppata su due filoni entrambi incentrati sullo studio del comportamento di guida in riferimento alle caratteristiche dell’infrastruttura stradale e dell’ambiente attraversato. Il primo è basato su condizioni di normale traffico, il secondo, invece, prende in considerazione il veicolo isolato. In entrambi i casi, per capire i comportamenti assunti dai conducenti nelle sezioni oggetto di studio e predire le velocità, si è scelto come parametro la velocità media spaziale (riferita ai cinque minuti). La scelta di questa velocità è dettata dal fatto che, a differenza delle velocità puntuali (istantanee), utilizzate da gran parte dei ricercatori, considera le variazioni di velocità eseguite dai guidatori nel percorrere un tratto stradale, come si può dedurre dalla formula per la sua determinazione riportata sotto.

$$\bar{v}_{ms} = \frac{d}{\frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}} \tag{4.4.1}$$

In cui:

d = Distanza percorsa.

t_i = Tempo di percorrenza medio.

n = Numero di veicoli che occupano il segmento in esame (aggregati in 5 minuti).

Inoltre tale velocità, per differenziarla dalla velocità media temporale che è puramente una media matematica, è definita come media armonica. È stato dimostrato in letteratura che le due velocità assumono lo stesso valore solo quando i veicoli all'interno di un tronco viaggiano tutti alla stessa velocità. In termini statistici ciò equivale a dire che le due velocità sono uguali solo quando la loro varianza è pari a zero. Inoltre è stata stimata una differenza tra le due velocità che può variare dall' 1% al 5%, ma si sono trovate anche differenze tra il 10% e il 30% (32).

Nell'ambito della ricerca la velocità media spaziale è stata quindi calcolata dividendo la distanza intercorrente tra le postazioni strumentali, che corrisponde alla sezione in esame, e il tempo di percorrenza medio dei veicoli nei cinque minuti.

Velocità media spaziale a flusso libero

Una particolare attenzione è stata rivolta alla definizione del veicolo isolato e alla determinazione della velocità media spaziale in condizione di libera circolazione (flusso libero). In letteratura la velocità di flusso libero viene definita come quella velocità della corrente veicolare quando portata e densità tendono a zero (33) (35). Inoltre per definire un veicolo isolato viene presa in considerazione la distanza temporale tra veicoli in un particolare punto del tracciato stradale. Nello specifico per le strade urbane i ricercatori utilizzano la distanza temporale adoperata per le strade extraurbane, pari a 6 o 5 secondi con il veicolo che precede e 3 o 4 secondi con il veicolo che segue. Poiché sia per gli studi extraurbani che per quelli urbani non viene fornita una relazione teorica per la sua determinazione, si sono costruiti i modelli utilizzando (in parte) i criteri consigliati dal mondo scientifico. Data la complessità dell'argomento e le molteplici variabili coinvolte nello studio, si è pensato di procedere alla

verifica, attraverso tecniche statistiche, della soglia temporale che definisce il veicolo isolato. La necessità di eseguire la verifica è dettata dal fatto che, utilizzando la velocità media spaziale, il veicolo si deve trovare in condizione di libera circolazione durante tutta la percorrenza del tratto di strada oggetto di esame; pertanto sono stati applicati i tempi che definiscono il veicolo isolato nelle sezioni che delimitano il tratto di rettilineo in esame. Inoltre per quelle strade che sono caratterizzate dal doppio senso di marcia non separato da spartitraffico, si è accertato, attraverso la visualizzazione delle immagini video, che il veicolo non fosse influenzato dal comportamento dei veicoli che percorrevano il senso di marcia opposto. Nelle strade invece caratterizzate dalla presenza sia di spartitraffico interrotto sia di parcheggi sia di accessi privati e strade secondarie, si sono esclusi quei veicoli preceduti o seguiti da quelli che si immettevano o uscivano dal flusso. Questo perché di tali veicoli si conosce solo il tempo di transito in una delle sezioni ed è quindi impossibile determinare in termini temporali l'influenza che essi esercitano sui veicoli che percorrono l'intero tratto.

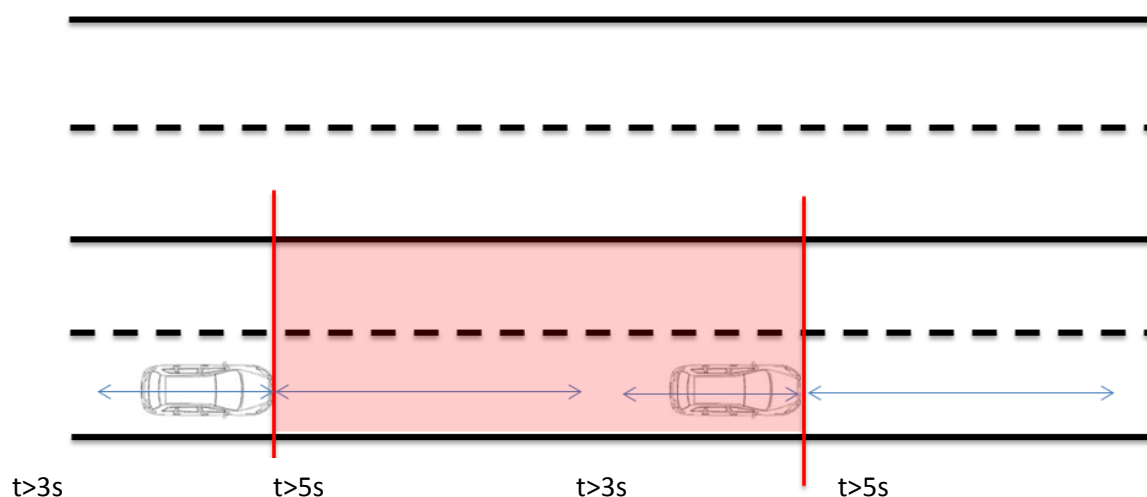


Figura 20: veicolo isolato in un tronco stradale.

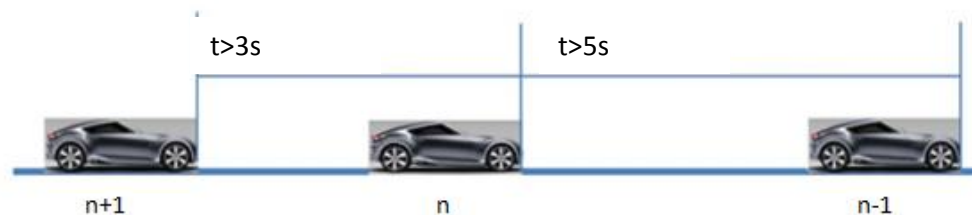


Figura 21: veicolo a flusso libero in una sezione (Fonte HCM2010).

Per capire se la soglia temporale proposta dai ricercatori fosse adeguata anche per porzioni di strada, si è determinata la correlazione tra la velocità del “veicolo n” e quella del “veicolo n-1” e tra la velocità del “veicolo n” e quella del “veicolo n+1”. I tempi di soglia che definiscono il veicolo isolato sono stati definiti quando i valori di correlazione all’aumentare del tempo (t) si sono mantenuti costanti e prossimi a zero. Lo studio eseguito su sei ore di rilievo per ciascuna strada ha confermato che, utilizzando i tempi proposti dai ricercatori nelle strade di interesse e applicandoli nelle sezioni che delimitano il tratto rettilineo in esame, la dipendenza della velocità del veicolo con quella del veicolo che segue e precede lo stesso, è debole. Nella tabella sottostante sono riportati i valori di correlazione determinati su ciascuna strada:

	Correlazione con il veicolo che precede	Correlazione con il veicolo che segue
Viale Diaz	0,007	0,2
Viale Poetto	0,1	0,2
Via Lungo Saline	0,1	0,2
Viale Marconi	0,1	0,2
Viale Elmas	0,1	0,02
Viale Monastir	0,03	0,2
Viale Colombo	0,1	0,2

Si è constatato, quindi, che l'influenza del veicolo di testa è minimo per un tempo pari o maggiore a 6 secondi, mentre il condizionamento dal veicolo che segue è minimo per un distanziamento maggiore o uguale a 4 secondi. Pertanto è presumibile pensare che per tali tempi, la velocità del "veicolo n" non vari in funzione della velocità del "veicolo n-1" né di quella del "veicolo n+1".

4.5 Le variabili.

La ricerca e l'individuazione delle variabili assumono un ruolo cruciale per lo studio comportamento dell'utente. Tutte le caratteristiche rilevate nelle strade diventano particolarità che si traducono in variabili. Tra queste si individuano: quella di risposta (variabile dipendente) ovvero quella che meglio si presta a descrivere il comportamento dei guidatori ovvero la velocità; quelle che invece si pensa abbiano un'influenza su di essa (variabili indipendenti), cioè le caratteristiche intrinseche del tratto omogeneo in analisi e del flusso veicolare. Esse possono essere schematizzate come segue.

Variabile dipendente.

- ✓ *Velocità media spaziale, V_{ms}* : definita come la velocità media dei veicoli transitati nel tronco stradale durante uno specifico intervallo temporale. È calcolata come il rapporto tra distanza percorsa e il tempo medio di percorrenza.
- ✓ *Velocità media spaziale a flusso libero, VFL_{ms}* : definita come la velocità media dei veicoli isolati transitati nel tronco stradale durante uno specifico intervallo temporale. È calcolata come il rapporto tra distanza percorsa e il tempo medio di percorrenza.

Variabili indipendenti.

- ✓ *Flusso veicolare, F* : definito come il numero di veicoli che transitano all'interno della sezione di studio nell'intervallo di tempo considerato.[v/min]
- ✓ *Flusso entrante e uscente dalla corrente veicolare, $F_{e,u}$* : s'intende il numero di veicoli che non percorrono l'intero tronco esaminato ma che s'immettono o escono dalla corrente veicolare. Ciò è dovuto dalla

presenza in ambito urbano di passi carrabili, parcheggi, spartitraffico che consente l'inversione di marcia nell'intervallo di tempo considerato. [v/min]

- ✓ *Larghezza delle corsie* (di marcia e di sorpasso), L_{corsie} : intesa come la distanza tra gli assi delle strisce che le delimitano. [m]
- ✓ *Larghezza della carreggiata*, L_{carr} : ovvero la parte della strada che è destinata allo scorrimento dei veicoli (comprendente anche la corsia destinata al transito di mezzi pubblici e taxi). [m]
- ✓ *Interferenza (ostacolo) laterale destra*, O_{dx} : s'intende lo spazio adiacente alla corsia di marcia che causa interferenze sul comportamento di guida. Questo ad esempio può essere la larghezza della corsia degli autobus/taxi, lo spazio di manovra compreso tra corsia di marcia e parcheggio, la banchina seguita dallo spartitraffico arredato a verde. [m]
- ✓ *Interferenza (ostacolo) laterale sinistra*, O_{sx} : è lo spazio adiacente alla corsia di sorpasso che causa interferenze sul comportamento di guida. La variabile è stata considerata sia in termini di larghezza espressa in metri sia come variabile qualitativa (3=nessun ostacolo laterale sinistro; 2=presenza di ostacolo fisso spartitraffico; 1=presenza di ostacolo in movimento, corsie non separate; 0=presenza di parcheggio).
- ✓ *Presenza di punti di accesso*, $P_{accessi}$: esistenza di elementi che consentono ai veicoli di immettersi nel flusso (0=assenza, 1=presenza sul lato della corsia di marcia; 2=presenza sul lato della corsia di sorpasso; 3= presenza su entrambi le corsie di marcia).
- ✓ *Presenza di attraversamenti pedonali*, $Attr$ (0=assenza, 1=presenza).
- ✓ *Presenza di fermate dell'autobus*, Bus (0=assenza, 1=presenza).
- ✓ *Tipologia di spartitraffico*, Spa_{sx} : le strade oggetto di studio sono caratterizzate da tre tipi di spartitraffico centrale. È presente lo spartitraffico con isola non sormontabile continua arredata a verde, quello con isola non sormontabile interrotta (consente l'inversione di marcia) arredato a verde e infine quello senza isola (0=assenza di spartitraffico, 1=isola interrotta insormontabile, 2=isola continua, 3=senza isola).
- ✓ *Spartitraffico*, Spa_{dx} : le strade oggetto di studio sono caratterizzate dalla presenza o assenza di spartitraffico destro (0=assenza di spartitraffico destro, 1= presenza di spartitraffico destro).

- ✓ *Lunghezza del rettilineo, L_{rett}* : intesa come la lunghezza di rettilineo all'interno della quale ricade la sezione oggetto di studio. [m]

4.6 Analisi della variabile dipendente.

Per il campione estrapolato dalle osservazioni effettuate sulle sezioni di monitoraggio, è stata analizzata la velocità media spaziale con specifici strumenti di statistica con il fine di ottenere la frequenza delle distribuzioni. Questo tipo di analisi consente di ottenere maggiori informazioni sui dati e capire se hanno bisogno di un'ulteriore indagine. Quindi si è proceduto con lo studio delle velocità medie in condizioni sia di normale traffico sia di libera circolazione seguendo quanto esposto nel paragrafo 3.1. Per verificare statisticamente la bontà di adattamento, è stato utilizzato il test di Kolmogorov-Smirnov illustrato nel paragrafo 3.2. Le variabili dipendenti utilizzate sono espresse sempre come velocità medie spaziali. Nello specifico in condizioni di normale traffico e di flusso libero si sono analizzate separatamente:

- Le velocità rilevate in tutte le carreggiate sia a doppia corsia a senso unico sia quelle a doppia corsia per senso di marcia;
- Le velocità rilevate nelle carreggiate a doppia corsia per senso di marcia.

Le analisi delle variabili dipendenti scelte per la costruzione dei modelli hanno confermato quanto riporta la letteratura scientifica ovvero che in condizioni di traffico pressoché omogeneo e in condizioni di flusso libero le velocità seguono un andamento normale (34).

Per completezza si sono riportati per le variabili dipendenti gli istogrammi delle distribuzioni delle velocità medie spaziali, le tabelle con i principali indici e il risultato del test di Kolmogorov-Smirnov.

- Velocità medie spaziali in condizioni di normale traffico: Via Lungo Saline, Viale Marconi, Viale Poetto, Viale Diaz, Viale Elmas, Via Monastir.

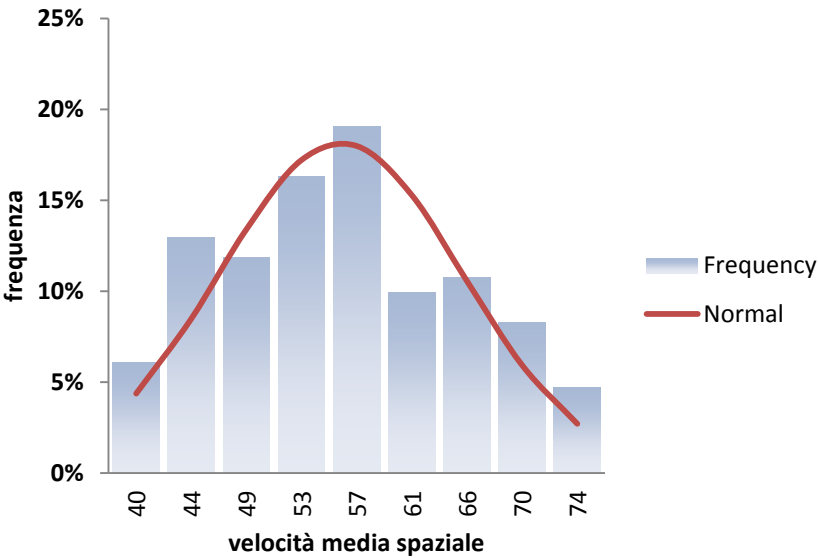


Figura 22: Istogramma delle velocità medie spaziali.

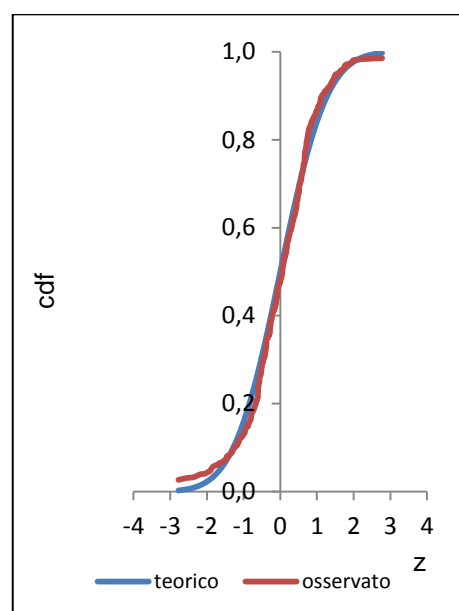
Intervallo	Estremo inferiore	Estremo superiore	Valore centrale	Freq.	Freq. Cum.	Distribuzione normale
1	38	42	40	6,1%	6,1%	4,4%
2	42	46	44	13,0%	19,1%	8,5%
3	46	51	49	11,9%	30,9%	13,4%
4	51	55	53	16,3%	47,2%	17,2%
5	55	59	57	19,1%	66,3%	18,0%
6	59	63	61	9,9%	76,2%	15,3%
7	63	68	66	10,8%	87,0%	10,6%
8	68	72	70	8,3%	95,3%	5,9%
9	72	76	74	4,7%	100,0%	2,7%

Tabella 5: Distribuzione di frequenza delle velocità medie spaziali.

<i>Velocità media spaziale</i>	
Media	55,82
Errore standard	0,49
Mediana	55,35
Moda	46,13
Deviazione standard	9,26
Curtosi	-0,77
Asimmetria	0,21
Intervallo	38,23
Minimo	37,93
Massimo	76,16
Conteggio	362,00

Tabella 6: Indici della distribuzione delle velocità medie spaziali.

Come si può notare dal grafico e dalle tabelle i dati si distribuiscono pressoché come una distribuzione normale. Per avere conferma di ciò si è applicato il test di Kolmogorov-Sminov (KS) definito nel paragrafo 3.2.



N° di osservazioni	362
D max abs	0,045
D max+	-0,022
D max-	0,045
α	0,05
p-value	>0,200
Conclusione: i dati sono normalmente distribuiti	$D_{\max abs} \leq d_{1-\alpha}$ P-value>5%

Figura 23 test di normalità (Kolmogorov-Sminov).

- Velocità medie spaziali in condizioni di normale traffico: Via Lungo Saline, Viale Marconi, Viale Poetto, Viale Diaz.

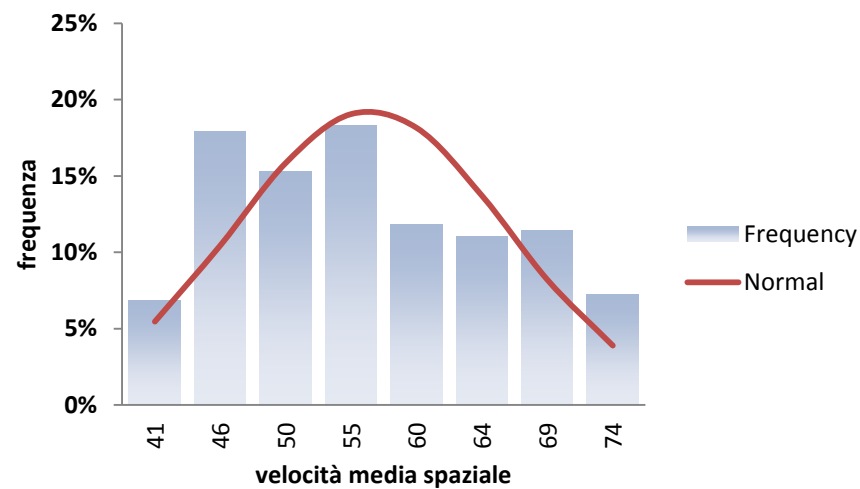


Figura 24: Istogramma delle velocità medie spaziali.

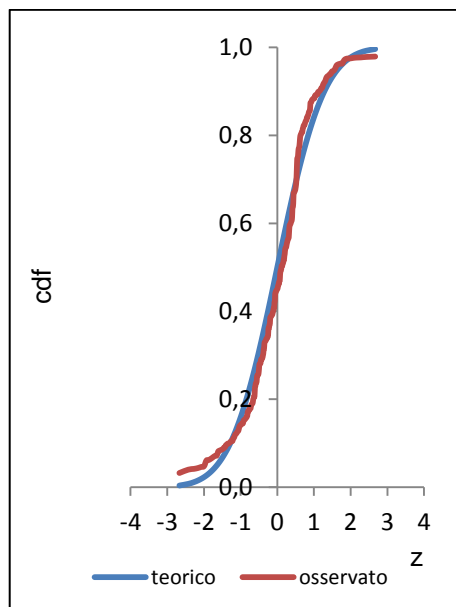
Intervallo	Estremo inferiore	Estremo superiore	Valore centrale	Freq.	Freq. Cum.	Distribuzione normale
1	39	43	41	6,9%	6,9%	5,5%
2	43	48	46	17,9%	24,8%	10,4%
3	48	53	50	15,3%	40,1%	15,8%
4	53	57	55	18,3%	58,4%	19,0%
5	57	62	60	11,8%	70,2%	18,1%
6	62	67	64	11,1%	81,3%	13,7%
7	67	71	69	11,5%	92,7%	8,2%
8	71	76	74	7,3%	100,0%	3,9%

Tabella 7: Distribuzione di frequenza delle velocità medie spaziali.

<i>Velocità media spaziale</i>	
Media	56,38
Errore standard	0,60
Mediana	55,20
Moda	46,13
Deviazione standard	9,65
Curtosi	-0,94
Asimmetria	0,28
Intervallo	37,61
Minimo	38,55
Massimo	76,16
Conteggio	262,00

Tabella 8: Indici della distribuzione delle velocità medie spaziali.

Come si può notare dal grafico e dalle tabelle i dati si distribuiscono pressoché come una distribuzione normale. Per avere conferma di ciò si è applicato il test di Kolmogorov-Sminov (KS) definito nel paragrafo 3.2.



N° di osservazioni	262
D max abs	0,068
D max+	0,061
D max-	0,068
α	0,05
p-value	>0,200
Conclusione: i dati sono normalmente distribuiti	$D_{\max abs} \leq d_{1-\alpha}$ P-value>5%

Figura 25 test di normalità (Kolmogorov-Sminov).

- Velocità medie spaziali in condizioni di libera circolazione Via Lungo Saline, Viale Marconi, Viale Poetto, Viale Diaz, Viale Elmas, Via Monastir.

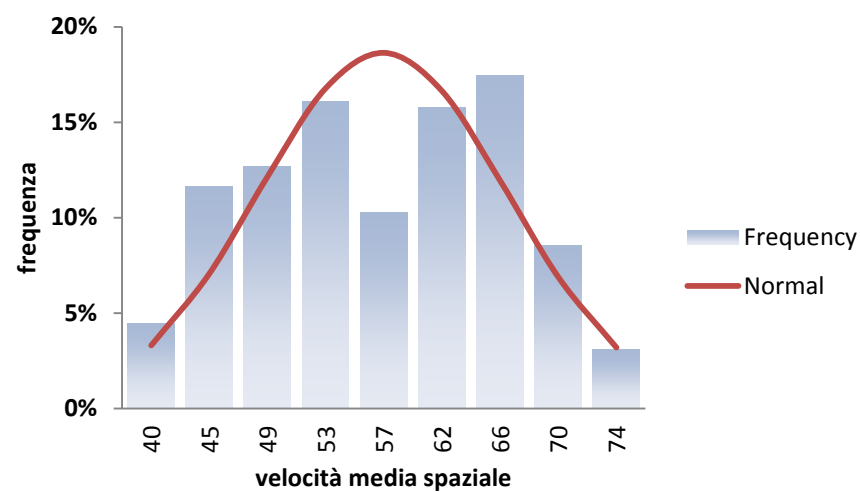


Figura 26: Istogramma delle velocità medie spaziali.

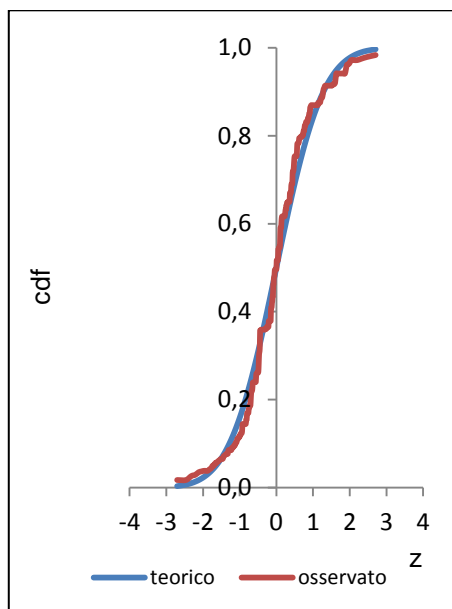
Intervallo	Estremo inferiore	Estremo superiore	Valore centrale	Freq.	Freq Cum.	Distribuzione normale
1	38	42	40	4,5%	4,5%	3,3%
2	42	47	45	11,6%	16,1%	7,1%
3	47	51	49	12,7%	28,8%	12,1%
4	51	55	53	16,1%	44,9%	16,8%
5	55	60	57	10,3%	55,1%	18,6%
6	60	64	62	15,8%	70,9%	16,6%
7	64	68	66	17,5%	88,4%	11,9%
8	68	72	70	8,6%	96,9%	6,9%
9	72	77	74	3,1%	100,0%	3,2%

Tabella 9: Distribuzione di frequenza delle velocità medie spaziali.

<i>Velocità media spaziale</i>	
Media	57,31
Errore standard	0,53
Mediana	57,46
Moda	67,50
Deviazione standard	9,07
Curtosi	-0,94
Asimmetria	-0,05
Intervallo	38,47
Minimo	38,16
Massimo	76,63
Conteggio	292,00

Tabella 10: Indici della distribuzione delle velocità medie spaziali.

Come si può notare dal grafico e dalle tabelle i dati si distribuiscono pressoché come una distribuzione normale. Per avere conferma di ciò si è applicato il test di Kolmogorov-Sminov (KS) definito nel paragrafo 3.2.



N° di osservazioni	292
D max abs	0,070
D max+	0,060
D max-	0,070
α	0,05
p-value	>0,200
Conclusione: i dati sono normalmente distribuiti	$D_{\max abs} \leq d_{1-\alpha}$ P-value>5%

Figura 27 test di normalità (Kolmogorov-Sminov).

- Velocità medie spaziali in condizioni di libera circolazione Via Lungo Saline, Viale Marconi, Viale Poetto, Viale Diaz.

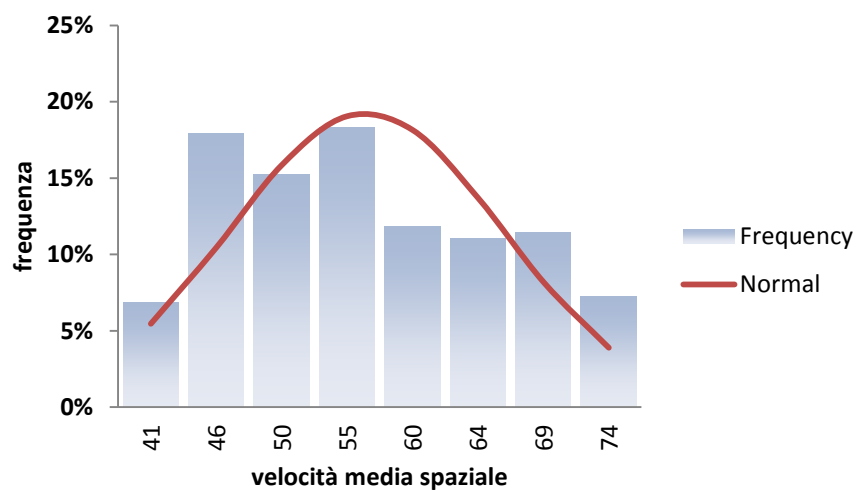


Figura 28 Istogramma delle velocità medie spaziali.

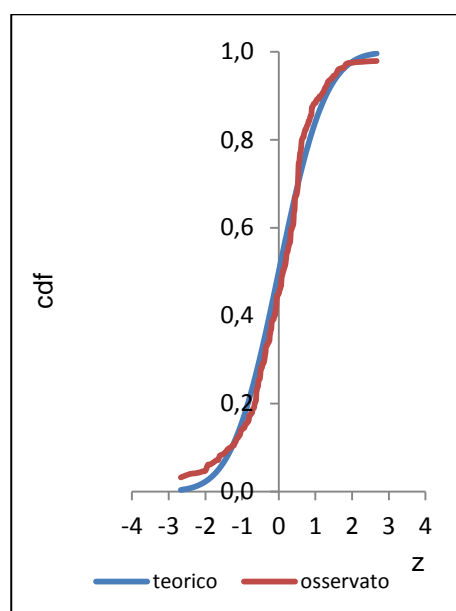
Intervallo	Estremo inferiore	Estremo superiore	Valore centrale	Freq	Freq Cum.	Distribuzione Normale
1	39	43	41	6,9%	6,9%	5,5%
2	43	48	46	17,9%	24,8%	10,4%
3	48	53	50	15,3%	40,1%	15,8%
4	53	57	55	18,3%	58,4%	19,0%
5	57	62	60	11,8%	70,2%	18,1%
6	62	67	64	11,1%	81,3%	13,7%
7	67	71	69	11,5%	92,7%	8,2%
8	71	76	74	7,3%	100,0%	3,9%

Figura 29 Distribuzione di frequenza delle velocità medie spaziali.

<i>Velocità media spaziale</i>	
Media	56,38
Errore standard	0,60
Mediana	55,20
Moda	66,02
Deviazione standard	9,65
Curtosi	-0,94
Asimmetria	0,28
Intervallo	37,61
Minimo	38,55
Massimo	76,16
Conteggio	262,00

Tabella 11: Indici della distribuzione delle velocità medie spaziali.

Come si può notare dal grafico e dalle tabelle i dati si distribuiscono pressoché come una distribuzione normale. Per avere conferma di ciò si è applicato il test di Kolmogorov-Sminov (KS) definito nel paragrafo 3.2.



N° di osservazioni	262
D max abs	0,068
D max+	0,061
D max-	0,068
α	0,05
p-value	>0,200
Conclusione: i dati sono normalmente distribuiti	$D_{\max abs} \leq d_{1-\alpha}$ P-value>5%

Figura 30 test di normalità (Kolmogorov-Sminov).

5. Modelli predittivi delle velocità

La procedura per la costruzione e validazione dei modelli matematici è finalizzata alla previsione del reale comportamento degli utenti su un particolare elemento del tracciato stradale. Il metodo è basato sull'osservazione delle velocità effettivamente adottate dai guidatori su rettifili in strade urbane a doppia corsia per senso di marcia. Il parametro utilizzato per descrivere il comportamento di guida è la velocità media spaziale. È stata scelta tale velocità poiché, come detto nei capitoli precedenti, considera, a differenza di quella puntuale (istantanea), le variazioni di velocità nella percorrenza di uno specifico tratto stradale. Inoltre tale velocità è stata utilizzata per comprendere il comportamento di guida in condizione sia di normale traffico (non congestionato), che di circolazione libera e quindi in condizioni di veicolo isolato. L'importanza dello studio del comportamento nelle due condizioni risiede nel condizionamento subito dal conducente. In regime di traffico normale può accadere che un veicolo quando raggiunge un altro più lento possa decidere di compiere il sorpasso o di accodarsi adeguando la propria velocità a quella del veicolo che lo precede. In questo modo si formano i plotoni costituiti da un veicolo di testa (leader) che procede alla velocità desiderata e da uno o più veicoli la cui velocità è condizionata. In questa condizione, soprattutto nelle carreggiate a doppia corsia per senso di marcia, si può fare una discriminazione tra i veicoli che sono accodati e quelli che sono in attesa di cambiare corsia per eseguire il sorpasso. In più, in un ambiente prettamente urbano il comportamento dei guidatori è anche influenzato dalla presenza di aree di sosta, di attraversamenti pedonali, di accessi privati e di elementi stradali che consentono ai veicoli di effettuare l'inversione di marcia. In queste circostanze risulta palese come i conducenti siano condizionati non soltanto dalle condizioni meteorologiche, dal tracciato stradale, dall'ambiente limitrofo alla strada ma anche dalle dinamiche interne al flusso veicolare stesso. In condizioni invece di libera circolazione ciò non accade, quindi le interferenze e i condizionamenti diminuiscono e sono dipendenti solo dalle caratteristiche del veicolo, dal conducente stesso e dall'ambiente attraversato. Per queste ragioni si è analizzato il comportamento di guida nei due scenari di traffico e in particolare nei paragrafi successivi è illustrato l'intero iter che ha portato alla costruzione dei modelli e alla conseguente verifica di bontà e applicabilità degli stessi.

Il metodo applicato per lo studio in esame è, come più volte accennato, la regressione multipla lineare. Nel seguito è proposta una sintesi dei passi indispensabili per arrivare a definire il modello indicativo del comportamento dell'utente:

1. Selezione delle variabili esplicative: tale procedura è stata eseguita mediante il metodo della selezione graduale (paragrafo 3.3) in modo da selezionare le variabili indipendenti che hanno maggior effetto su quella di risposta.
2. Verifica della bontà del modello:
 - ✓ Si controlla il valore dei coefficienti di determinazione R^2 e $R^2_{\text{aggiustato}}$. Gli studi di settore considerano in genere un buon modello se il valore è superiore a 0,4 (25).
 - ✓ Verifica della significatività del modello complessivo: per tale scopo viene utilizzato il test F di Fisher e deve essere rispettata la condizione che $F^* > F_{\text{critico}}$; in alternativa il p-value, fissato il livello di significatività del 5%, deve essere inferiore a 0,05 (per tutti i modelli si sono eseguite entrambe le verifiche).
 - ✓ Verifica della coerenza dei segni dei coefficienti regressori.
 - ✓ Verifica dei coefficienti delle variabili esplicative: è eseguita applicando il test t di Student e deve essere rispettata la condizione che $t^* > t_{\text{critico}}$; in alternativa il p-value, fissato il livello di significatività del 5%, deve essere inferiore a 0,05 (per tutti i modelli si sono eseguite entrambe le verifiche).
 - ✓ Determinazione dei livelli di confidenza: l'intervallo trovato non deve comprendere lo zero e il valore di ogni singolo coefficiente regressore deve ricadere all'interno del proprio intervallo di confidenza opportunamente determinato.
 - ✓ Verifica di assenza di multicollinearità tra variabili indipendenti: si determina l'indicatore VIF per ciascuna variabile indipendente e ci si accerta che sia inferiore a 10.
3. Analisi diagnostica. Consiste nell'analisi dei diagrammi a dispersione dei residui per la verifica di:
 - ✓ Linearità: i punti si devono disporre in modo casuale.
 - ✓ Omoschedasticità: i punti occupano un'area omogenea senza assumere una particolare forma.

- ✓ Indipendenza dei residui: si analizzano i residui in funzione del tempo e si verifica che assumano una disposizione casuale.
- ✓ Normalità: per accertare questa condizione sono necessarie ulteriori indagini eseguite mediante: istogramma che deve essere sottoposto a test (Kolmogorov-Sminov) per verificare la conformità dei residui all'andamento teorico; grafico della probabilità normale (QQ-plot)
- ✓ Presenze di anomalie e osservazioni influenti: si rilevano mediante la determinazione dei punti di leva (Leverage value) e dell'indice di Cook.

5.1 Modelli predittivi in condizione di normale traffico.

Il primo scenario proposto è quello che prende in esame lo studio del comportamento di guida in condizioni di normale traffico e prevede due modelli: il primo si può definire “generale” e considera tutte le strade diversificate dalla loro conformazione geometrica; il secondo è più “specifico” e riguarda solo le strade contraddistinte dal doppio senso di marcia che, come descritto precedentemente, possono essere separate o meno dallo spartitraffico, pertanto si è voluto investigare sulla tipologia di separazione delle corsie. Sono dunque rimaste escluse quelle caratterizzate da una carreggiata a senso unico.

- Modello generale costruito con le strade Via Lungo Saline, Viale Marconi, Viale Poetto, Viale Diaz, Viale Elmas, Via Monastir.

L'applicazione della metodica suddetta ha portato al modello illustrato nella tabella sottostante.

<i>Statistica della regressione</i>	
R multiplo	0,90
R ²	0,813
R ² _{aggiustato}	0,810
Errore standard	4,03
Osservazioni	362

ANALISI VARIANZA

	<i>gdl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
Regressione	6	25200,21	4200,03	258,62	2,76E-126
Residuo	355	5765,21	16,24		
Totale	361	30965,42			

<i>Variabili</i>	<i>Coefficienti</i>	<i>Errore standard</i>	<i>Stat t</i>	<i>p-value</i>	Livelli di confidenza		<i>VIF</i>
					<i>Inferiore</i> 95%	<i>Superiore</i> 95%	
Intercetta	14,21	2,97	4,78	2,58E-06	8,36	20,06	
F	-0,05	0,02	-3,18	1,61E-03	-0,08	-0,02	1,00
F _{e,u}	-0,64	0,07	-8,88	3,45E-17	-0,78	-0,50	5,43
Att	-11,84	0,76	-15,59	4,04E-42	-13,33	-10,35	3,20
L _{rett}	0,03	0,00	11,44	5,18E-26	0,02	0,03	5,91
O _{sx}	3,84	0,28	13,82	4,55E-35	3,29	4,38	1,14
L _{corsie}	4,07	0,60	6,83	3,64E-11	2,90	5,25	3,88

Tabella 12: Risultati della regressione multipla lineare.

Come si può notare dalla tabella le variabili indipendenti che si sono rivelate influenti, per le velocità praticate dagli utenti, sono il flusso (F), il numero di veicoli che s'immettono ed escono nella corrente veicolare (F_{e,u}), la presenza di attraversamento (Attr), la lunghezza del tronco in rettilineo all'interno del quale ricade la sezione di studio (L_{rett}), la tipologia di ostacolo laterale sinistro (O_{sx}) e infine la larghezza delle corsie (L_{corsie}). Nello specifico l'interpretazione che si può dare alle variabili esplicative è la seguente:

Interpretazione dei coefficienti	
F	La velocità media spaziale diminuisce mediamente di 0,05 km/h per ogni veicolo transitato nei 5 minuti.
F_{e,u}	La velocità media spaziale diminuisce mediamente di 0,64 Km/h per ogni veicolo che si immette o esce dalla corrente veicolare nei 5 minuti.
Att	La velocità media spaziale diminuisce mediamente di 11,84 Km/h se sono presenti attraversamenti pedonali.
L_{rett}	La velocità media spaziale aumenta mediamente di 0,03 Km/h a ogni metro di rettilineo.
O_{sx}	La velocità media spaziale aumenta mediamente di 3,84 Km/h secondo il tipo d'interferenza laterale sinistra (variabile qualitativa).
L_{corsie}	La velocità media spaziale aumenta mediamente di 4,07 Km/h al crescere di un metro di larghezza di corsia.

Tabella 13: Interpretazione dei coefficienti.

Si sono perciò eseguite le verifiche per testare la bontà del modello.

Verifica bontà del modello			
R²_{aggiustato}	Evidenzia come l'81% della variabilità delle velocità medie spaziali sia spiegato dalle variazioni delle variabili: Flusso, Flusso entrante e uscente, attraversamento, lunghezza del rettilineo, tipologia di ostacolo laterale sinistro e larghezza delle corsie.		
Condizioni			Verificato
F di Fischer	$F^* > F_{\text{critico}}$	p-value<0,05	Si
Coerenza segni dei parametri			Si
t di Student sui parametri	$t^* > t_{\text{critico}}$	p-value<0,05	Si
Livello di confidenza dei parametri			Si
VIF	<10	Si	

Tabella 14: Verifica bontà del modello

Inoltre è consuetudine mettere in relazione i valori predetti con quelli osservati al fine di constatare visivamente se vi siano sostanziali differenze tra i due gruppi di valori e verificarne l'adattabilità. La figura sottostante mostra una buona approssimazione dei valori alla retta (passante per l'origine e con inclinazione di 45°) a conferma della bontà del modello.

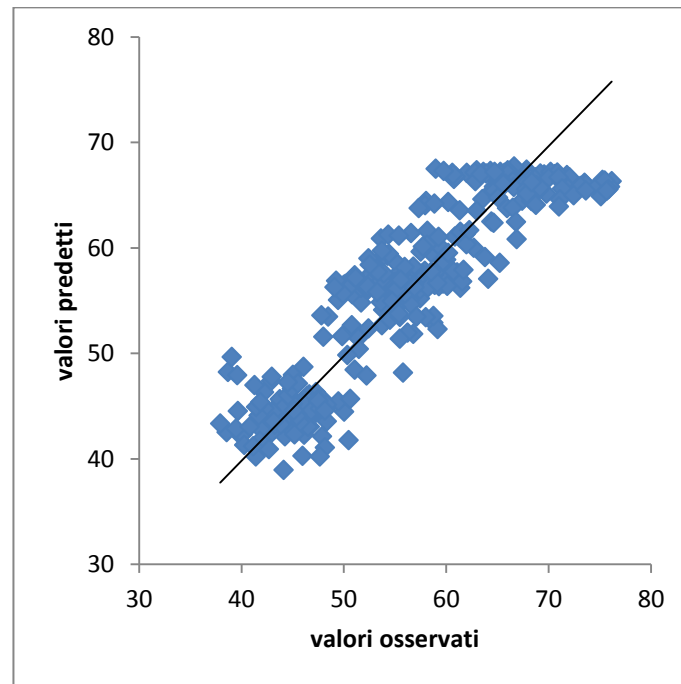


Figura 31: valori predetti in funzione di quelli osservati.

Analisi diagnostica.

Le analisi dei diagrammi a dispersione dei residui in funzione sia dei valori attesi sia del tempo confermano che la linearità, omoschedasticità e indipendenza sono state rispettate dato che, come si può notare nelle figure sottostanti, i punti si dispongono in modo casuale su un'area omogenea.

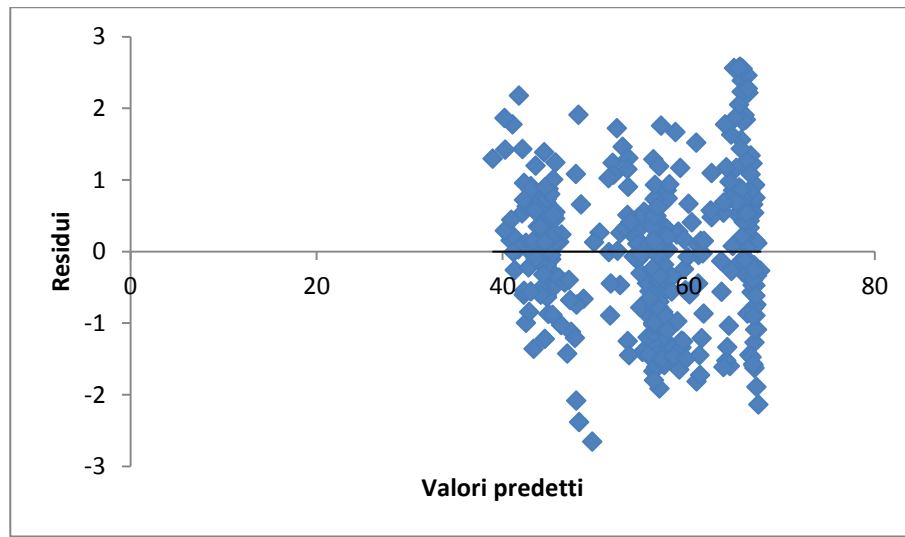


Figura 32: valori residuali in funzione di quelli predetti.

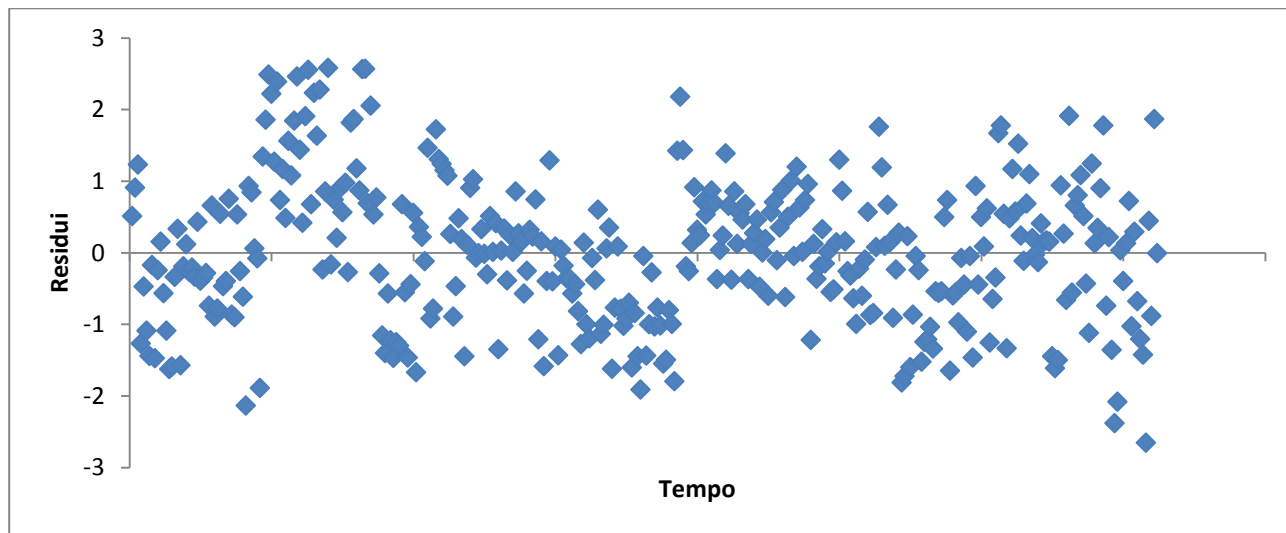


Figura 33: valori residuali in funzione del tempo.

Verifica di normalità.

L'istogramma dei residui, riportato nella seguente figura, fornisce una prima conferma di normalità, infatti, il 95,5% dei residui ricade tra $[-1,9; +1,9]$.

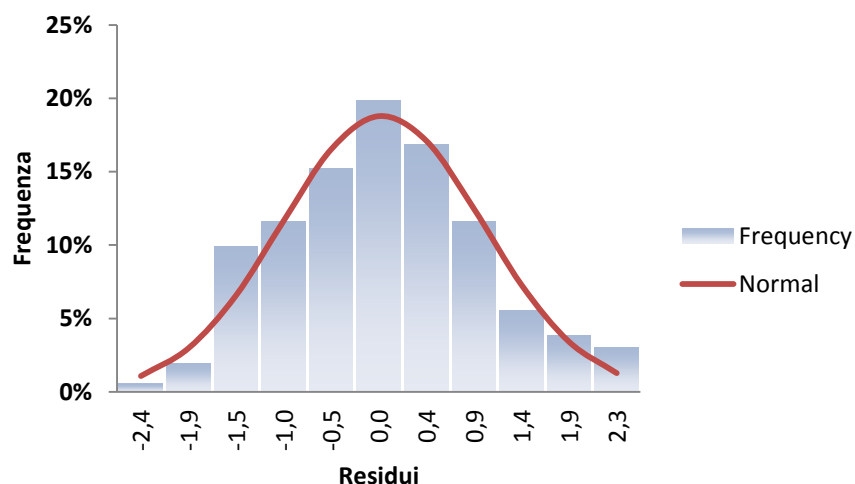


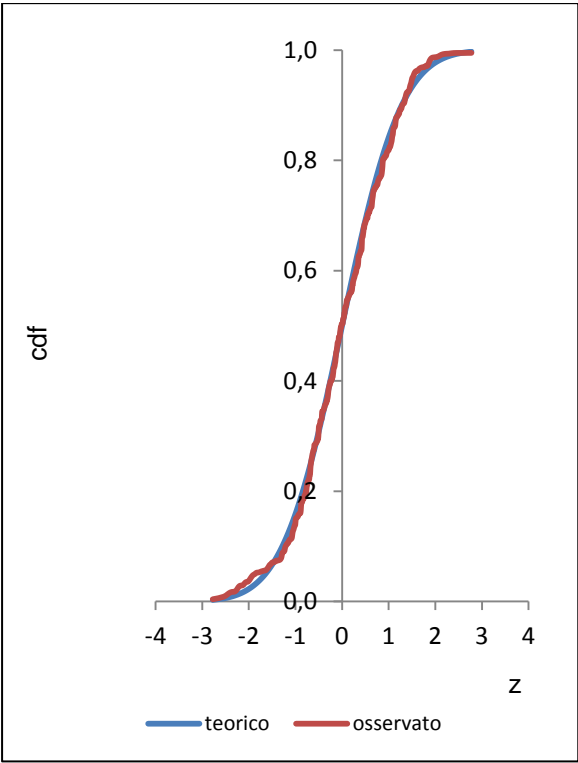
Figura 34: istogramma dei residui.

Per completezza si riportano in tabella i dati numerici.

Intervallo	Estremo inferiore	Estremo superiore	Valore centrale	Freq.	Freq Cum.	Distribuzione Normale
1	-2,7	-2,2	-2,4	0,6%	0,6%	1,1%
2	-2,2	-1,7	-1,9	1,9%	2,5%	3,0%
3	-1,7	-1,2	-1,5	9,9%	12,4%	6,6%
4	-1,2	-0,7	-1,0	11,6%	24,0%	11,6%
5	-0,7	-0,3	-0,5	15,2%	39,2%	16,5%
6	-0,3	0,2	0,0	19,9%	59,1%	18,8%
7	0,2	0,7	0,4	16,9%	76,0%	17,1%
8	0,7	1,2	0,9	11,6%	87,6%	12,5%
9	1,2	1,6	1,4	5,5%	93,1%	7,3%
10	1,6	2,1	1,9	3,9%	97,0%	3,4%
11	2,1	2,6	2,3	3,0%	100,0%	1,3%

Tabella 15: Distribuzione di frequenza dei residui

Il test di Kolmogorv-Sminov (paragrafo 3.2] ha confermato la normalità dei residui come riportato nella figura sottostante.



N° di osservazioni	362
D max abs	0,027
D max+	0,027
D max-	0,022
α	0,05
p-value	>0,200
Conclusione: i dati sono normalmente distribuiti	$D_{\max abs} \leq d_{1-\alpha}$ P-value>5%

Figura 35: test di normalità (Kolmogorov-Sminov).

L’ultima verifica eseguita per testare la normalità dei residui è rappresenta dal grafico QQ-plot. Come si può notare i valori residuali si dispongono lungo la bisettrice pertanto si può dedurre che la verifica di normalità è valida.

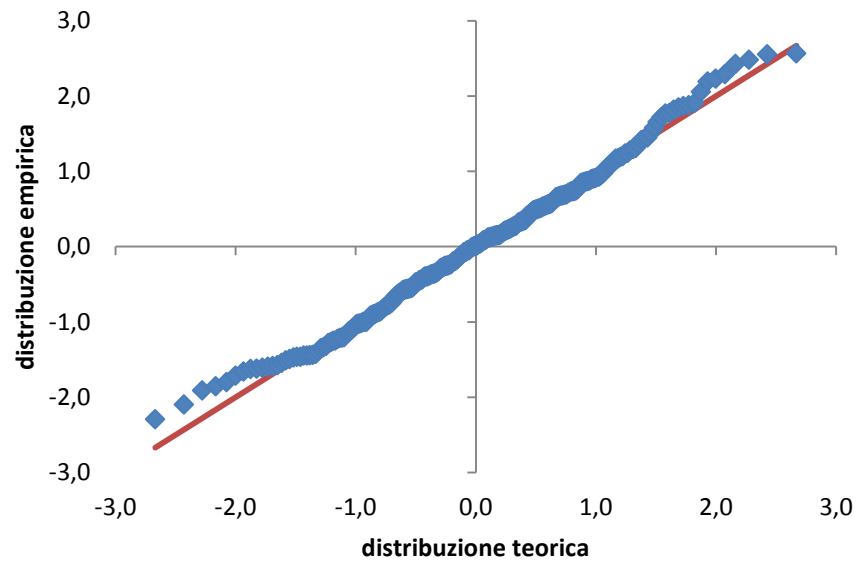


Figura 36: QQ-plot dei residui.

L'ultima fase dell'analisi diagnostica del modello consiste nell'indagare la presenza di anomalie (outliers) mediante l'individuazione dei punti di leva (valori di Leverage) e osservazioni influenti attraverso il calcolo della distanza di Cook. Tali verifiche si possono svolgere graficamente. Per quanto concerne i punti di leva è stato determinato il valore critico, tramite la 3.4.2, oltre il quale l'osservazione può considerarsi influente. Come si può osservare dal grafico i valori si trovano tutti sotto il valore critico pari a 0,039.

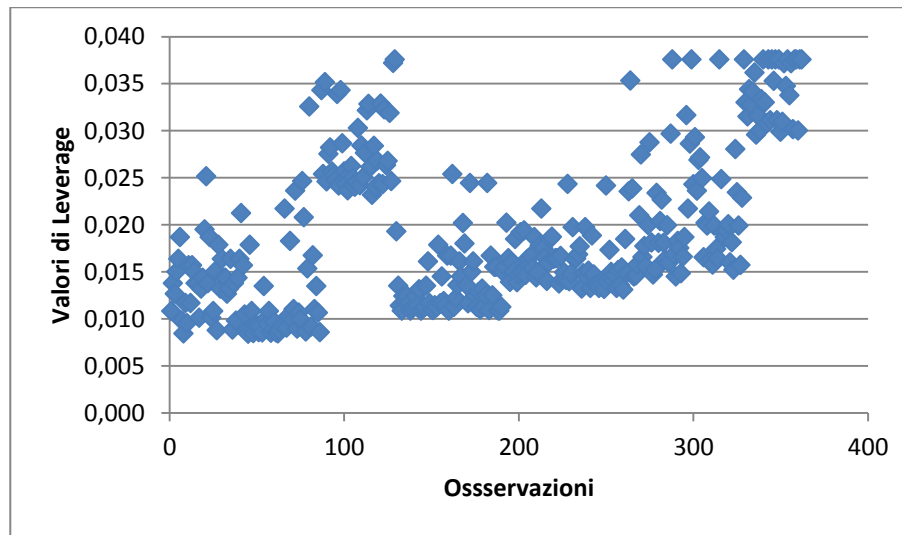


Figura 37: valori di Leverage in funzione delle osservazioni.

Il passo successivo è stato quello di determinare la distanza di Cook secondo la relazione 3.4.3. Come si può notare dalla seguente figura, tutti i valori rispettano la condizione di essere inferiori a 1, il massimo valore registrato è 0,0098.

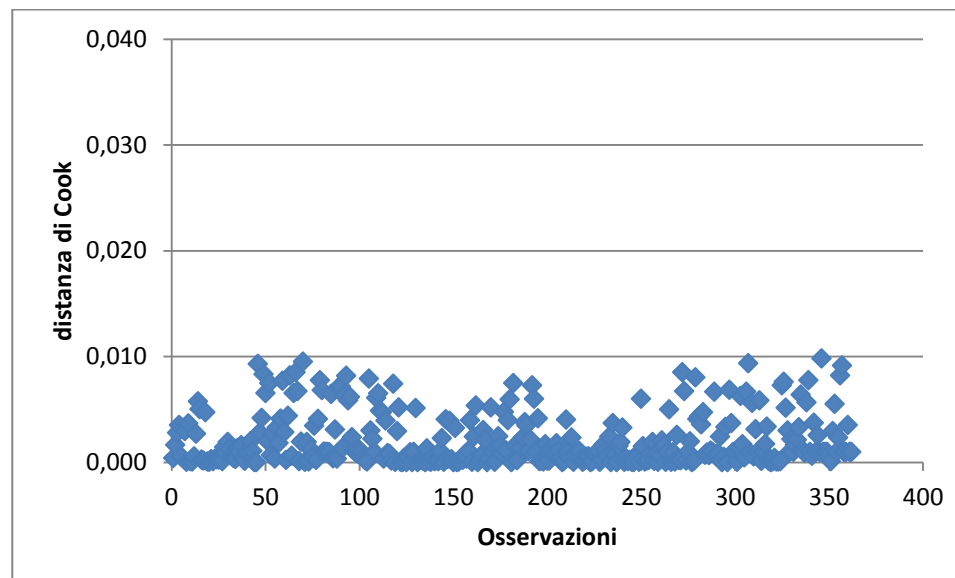


Figura 38: distanza di Cook in funzione delle osservazioni.

In conclusione il modello, che meglio approssima il comportamento dell'utente in condizioni di regolare traffico, è il seguente:

$$V_{ms} = 14,21 - 0,05 F - 0,64 F_{e,u} - 11,84 Att + 0,03 L_{rett} + 3,84 O_{sx} + 4,07 L_{corsie}$$

(modello 1)

In cui:

V_{ms} Velocità media spaziale.

F = Flusso veicolare.

$F_{e,u}$ = Flusso entrante e uscente dalla corrente veicolare.

Att = Attraversamento.

L_{rett} = Lunghezza del rettilineo.

O_{sx} = Ostacolo laterale sinistro.

L_{corsie} = Larghezza delle corsie.

Tale modello mette in evidenza che le velocità dei veicoli sono influenzate non soltanto dal flusso veicolare che attraversa l'intero tratto di studio ma anche da quei veicoli che immettendosi o uscendo dalla corrente di traffico condizionano il comportamento degli altri utenti. Inoltre anche le caratteristiche dell'ambiente attraversato (la presenza di attraversamenti pedonali, la lunghezza del rettilineo, la tipologia di ostacolo laterale sinistro e la larghezza delle corsie) hanno un loro peso sulla velocità di percorrenza della porzione di rettilineo in esame.

- Modello "specifico" costruito con le strade Via Lungo Saline, Viale Marconi, Viale Poetto, Viale Diaz.

Le strade urbane a doppia corsia per senso di marcia in genere possono essere caratterizzate o meno da un separatore di corsie, lo spartitraffico. Quest'ultimo nelle strade in esame, ad eccezione di Viale Marconi che non presenta nessun elemento divisorio, assume una diversa conformazione che, come descritto nel capitolo precedente, può essere descritta come segue:

- Spartitraffico con isola non sormontabile continua arredata a verde;

- Spartitraffico con isola non sormontabile interrotta (consente l'inversione di marcia) arredato a verde;
- Spartitraffico senza isola (delimitato dalla segnaletica con linee a 45°).

Come per il modello precedente il risultato dell'applicazione della metodologia ha portato al modello illustrato nella tabella sottostante.

<i>Statistica della regressione</i>	
R multiplo	0,920
R^2	0,846
$R^2_{aggiustato}$	0,845
Errore standard	3,806
Osservazioni	262

ANALISI VARIANZA

	<i>gdl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
Regressione	3	20583,37	6861,12	473,58	1,4106E-104
Residuo	258	3737,87	14,49		
Totale	261	24321,23			

Livelli di confidenza							
<i>Variabili</i>	<i>Coefficienti</i>	<i>Errore standard</i>	<i>Stat t</i>	<i>p-value</i>	<i>Inferiore 95%</i>	<i>Superiore 95%</i>	<i>VIF</i>
Intercetta	21,80	1,28	16,99	5,88E-44	19,28	24,33	
$F_{e,u}$	-0,60	0,16	-3,79	0,000187	-0,90	-0,29	1,00
Spa_{sx}	4,11	0,34	12,25	1,69E-27	3,45	4,77	2,41
L_{rett}	0,05	0,00	23,16	6,01E-65	0,05	0,05	1,11

Tabella 16: Risultati della regressione multipla lineare.

La tabella mostra come le variabili indipendenti che si sono rivelate influenti, per le velocità praticate dagli utenti nelle strade a doppia corsia di marcia per senso di marcia, sono il numero di veicoli che si immettono ed escono nella corrente veicolare ($F_{e,u}$), la tipologia di spartitraffico centrale (Spa_{sx}), la lunghezza del tronco in rettilineo all'interno del quale ricade la sezione di studio (L_{rett}). Nello specifico l'interpretazione che si può dare alle variabili esplicative è la seguente:

Interpretazione dei coefficienti	
$F_{e,u}$	La velocità media spaziale diminuisce mediamente di 0,60 Km/h per ogni veicolo che si immette o esce dalla corrente veicolare nei 5 minuti.
Spa_{sx}	La velocità media spaziale aumenta mediamente di 4,11 Km/h secondo il tipo di spartitraffico centrale.
L_{rett}	La velocità media spaziale aumenta mediamente di 0,05 Km/h a ogni metro di rettilineo.

Tabella 17 Interpretazione dei coefficienti.

Si sono perciò eseguite le verifiche per testare la bontà del modello.

Verifica bontà del modello			
$R^2_{aggiustato}$	Evidenza come l'84% della variabilità delle velocità medie spaziali sia spiegato dalle variazioni delle variabili: Flusso entrante e uscente, tipologia di spartitraffico e lunghezza del rettilineo.		
Condizioni			Verificato
F di Fischer	$F^* > F_{critico}$	p-value < 0,05	Si
Coerenza segni dei parametri			Si
t di Student sui parametri	$t^* > t_{critico}$	p-value < 0,05	Si
Livello di confidenza dei parametri			Si
VIF	< 10		

Tabella 18 Verifica bontà del modello

Quindi si sono messi in relazione i valori osservati con quelli predetti al fine di costatare visivamente se vi siano sostanziali differenze tra i due gruppi di valori e verificarne l'adattabilità. La figura sottostante mostra una buona approssimazione dei valori alla retta (passante per l'origine e con inclinazione di 45°) a conferma della bontà del modello.

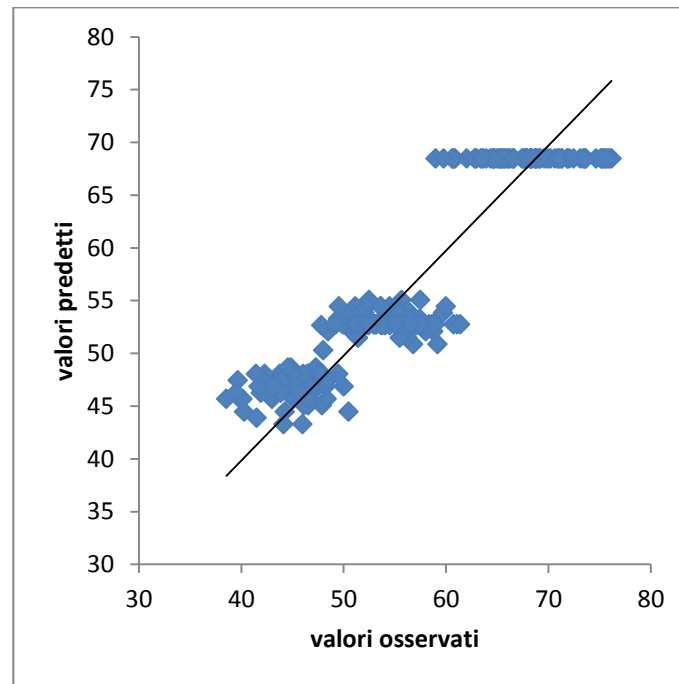


Figura 39: valori predetti in funzione di quelli osservati.

Analisi diagnostica.

Le analisi dei diagrammi a dispersione dei residui in funzione sia dei valori attesi sia del tempo confermano che la linearità, omoschedasticità e indipendenza sono state rispettate dato che, come si può notare nelle figure sottostanti, i punti si dispongono in modo casuale su un'area omogenea.

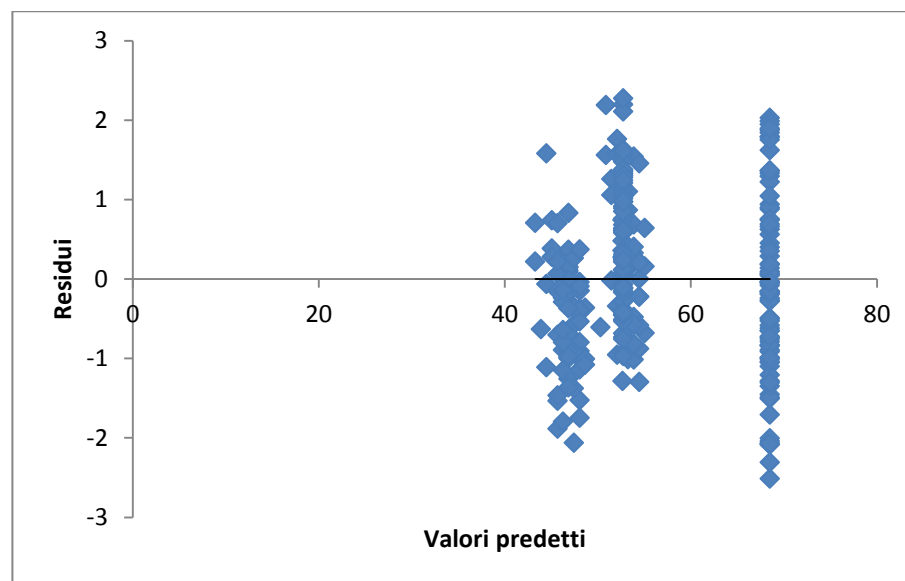


Figura 40: valori residuali in funzione di quelli predetti.

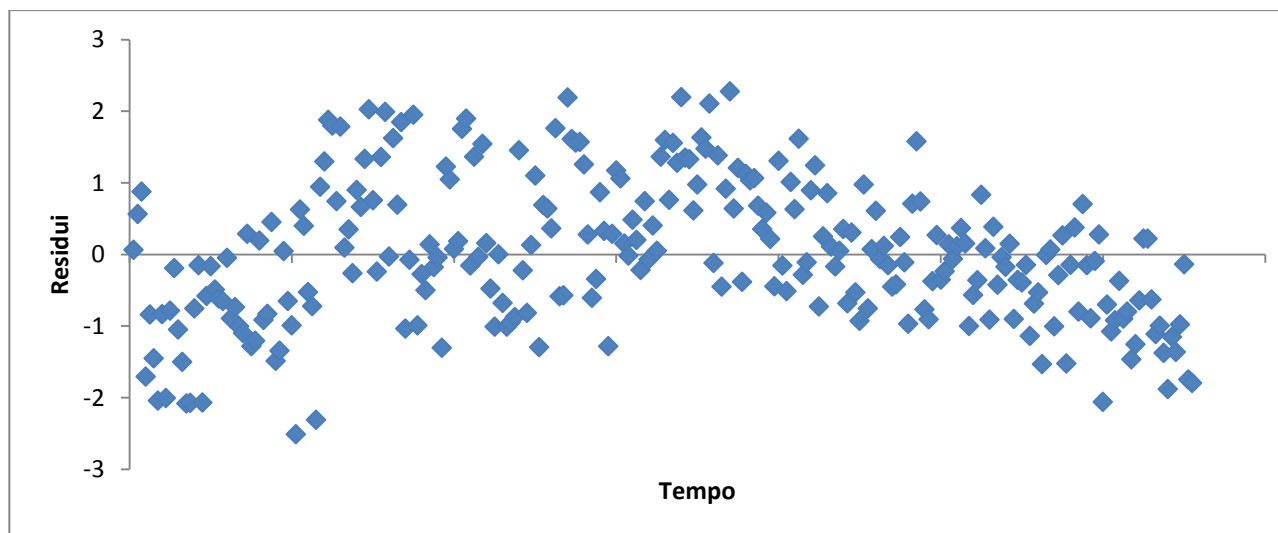


Figura 41: valori residuali in funzione del tempo.

Verifica di normalità.

L'istogramma dei residui, riportato nella seguente figura, fornisce una prima conferma di normalità, infatti, il 95% dei residui ricade tra [-1,9; +1,9].

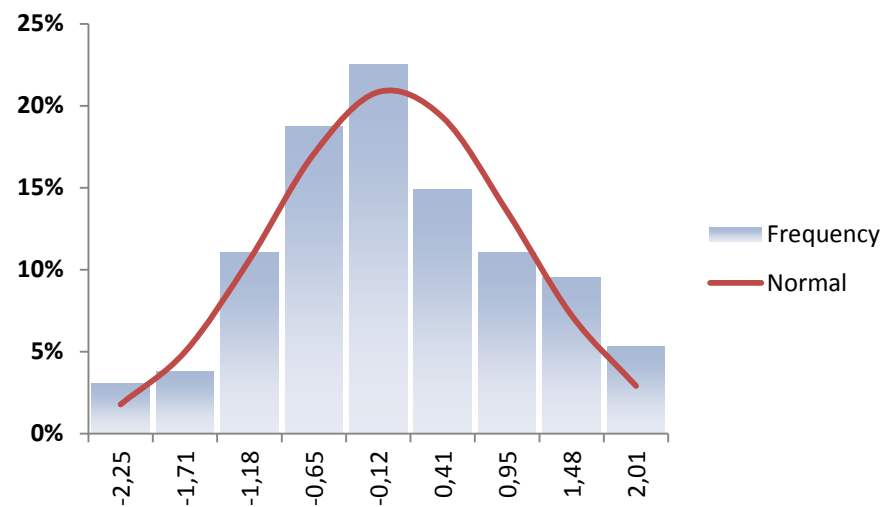


Figura 42 istogramma dei residui.

Per completezza si riportano in tabella i dati numerici.

Intervallo	Estremo inferiore	Estremo superiore	Valore centrale	Freq	Freq Cum.	Distribuzione Normale
1	-2,51	-1,98	-2,25	3,1%	3,1%	1,8%
2	-1,98	-1,45	-1,71	3,8%	6,9%	5,0%
3	-1,45	-0,92	-1,18	11,1%	17,9%	10,6%
4	-0,92	-0,38	-0,65	18,7%	36,6%	17,1%
5	-0,38	0,15	-0,12	22,5%	59,2%	20,8%
6	0,15	0,68	0,41	14,9%	74,0%	19,3%
7	0,68	1,21	0,95	11,1%	85,1%	13,5%
8	1,21	1,74	1,48	9,5%	94,7%	7,2%
9	1,74	2,28	2,01	5,3%	100,0%	2,9%

Tabella 19: Distribuzione di frequenza dei residui

Il test di Kolmogorv-Sminov (paragrafo 3.2) ha confermato la normalità dei residui come riportato nella figura sottostante.

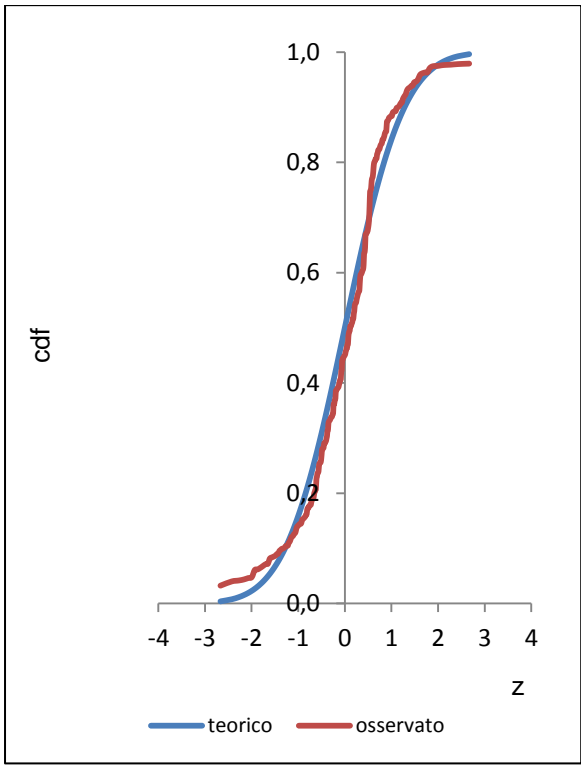
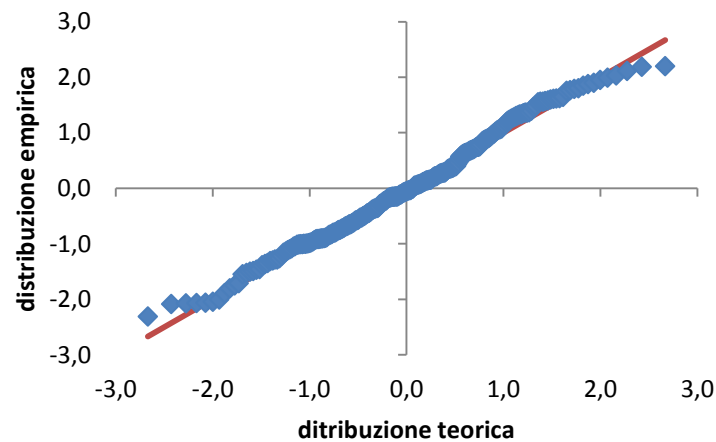


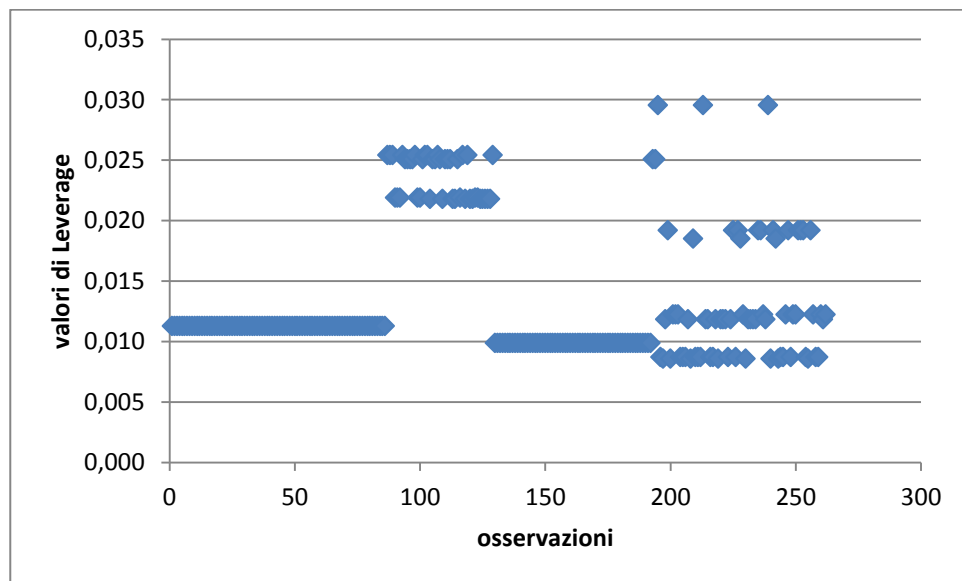
Figura 43: test di normalità (Kolmogorov-Sminov).

L’ultima verifica eseguita per testare la normalità dei residui è rappresentata dal grafico QQ-plot. Come si può notare i valori residuali si dispongono lungo la bisettrice pertanto si può dedurre che la verifica di normalità è valida.

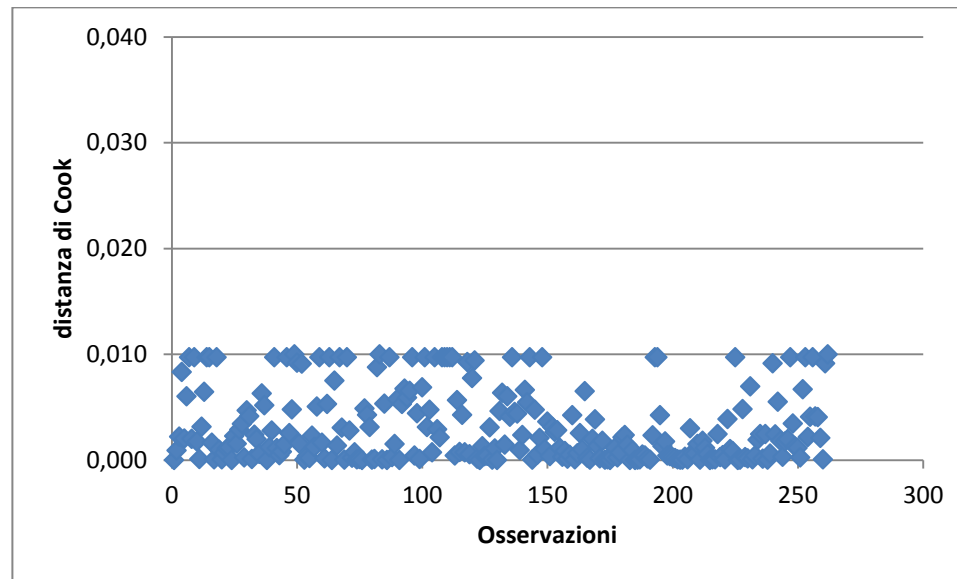
N° di osservazioni	262
D max abs	0,068
D max+	0,061
D max-	0,068
α	0,05
p-value	>0,200
Conclusione: i dati sono normalmente distribuiti	$D_{max abs} \leq d_{1-\alpha}$ P-value>5%



L'ultima fase dell'analisi diagnostica del modello consiste nell'indagare la presenza di anomalie (outliers) mediante l'individuazione dei punti di leva (valori di Leverage) e osservazioni influenti attraverso il calcolo della distanza di Cook. Tali verifiche si possono svolgere graficamente. Per quanto concerne i punti di leva è stato determinato il valore critico, tramite la 3.4.2, oltre il quale l'osservazione può considerarsi influente. Come si può osservare dal grafico i valori si trovano tutti sotto il valore critico pari a 0,0305.



Il passo successivo è stato quello di determinare la distanza di Cook secondo la relazione 3.4.3. Come si può notare dalla seguente figura, tutti i valori rispettano la condizione di essere inferiori a 1, il massimo valore registrato è 0,0097.



In conclusione il modello, che meglio approssima il comportamento dell'utente in condizioni di regolare traffico nelle strade caratterizzate da doppio senso di marcia è il seguente:

$$V_{ms} = 21,80 - 0,60 F_{e,u} + 4,11 Spa_{sx} + 0,05 L_{rett}$$

(modello 2)

In cui:

V_{ms} = Velocità media spaziale.

Att = Attraversamento.

Spa_{sx} = Spartitraffico centrale.

L_{rett} = Lunghezza del rettilineo.

Il modello fa notare come le velocità dei veicoli siano influenzate da quei veicoli che immettendosi o uscendo dalla corrente di traffico condizionano il comportamento degli altri utenti. Inoltre anche la tipologia dello spartitraffico centrale, la lunghezza del rettilineo si sono rivelate influenti sulla velocità di percorrenza della porzione di rettilineo in esame.

5.2 Modelli predittivi in condizione di libera circolazione.

Per poter individuare le caratteristiche geometriche che influenzano il comportamento di guida, si sono costruiti i modelli predittivi considerando la velocità media spaziale a flusso libero. I modelli proposti per lo studio del comportamento di guida in condizioni di flusso libero si possono suddividere in due gruppi, come per il primo scenario descritto nel paragrafo precedente, per un totale di tre modelli. Nello specifico si sono determinati due modelli generali che considerano tutte le sei strade diversificate dalla loro conformazione geometrica; il terzo modello è più “specifico” e riguarda solo le strade contraddistinte dal doppio senso di marcia che possono essere separate o meno dallo spartitraffico, pertanto si è voluto investigare, anche in questo caso, sulla tipologia di separazione delle corsie.

- Primo modello generale costruito con le strade Via Lungo Saline, Viale Marconi, Viale Poetto, Viale Diaz, Viale Elmas, Via Monastir.

L'applicazione della procedura ha portato al seguente risultato.

<i>Statistica della regressione</i>	
R multiplo	0,860
R ²	0,739
R ² _{aggiustato}	0,734
Errore standard	4,674
Osservazioni	292

ANALISI VARIANZA

	<i>gdl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
Regressione	5	17670,94	3534,19	161,79	3,52E-81
Residuo	286	6247,43	21,84		
Totale	291	23918,37			

<i>Variabili</i>	<i>Coefficienti</i>	<i>Errore standard</i>	<i>Stat t</i>	<i>p-value</i>	Livelli di confidenza		<i>VIF</i>
					<i>Inferiore 95%</i>	<i>Superiore 95%</i>	
Intercetta	25,23	3,88	6,51	3,38E-10	17,60	32,86	
Att	-10,26	0,83	-12,34	2,41E-28	-11,90	-8,62	2,30
L _{rett}	0,02	0,00	8,36	2,76E-15	0,02	0,02	2,86
Spa _{dx}	4,86	0,91	5,36	1,72E-07	3,08	6,64	1,75
L _{corsie}	2,81	0,83	3,39	0,000793	1,18	4,43	4,20
O _{sx}	2,83	0,39	7,31	2,76E-12	2,07	3,60	1,11

Tabella 20 Risultati della regressione multipla lineare.

Le variabili indipendenti che si sono rivelate influenti, per le velocità praticate dagli utenti in condizioni di flusso libero, sono la presenza di attraversamento (Att), la lunghezza del tronco in rettilineo all'interno del quale ricade la sezione di studio (L_{rett}), la presenza di spartitraffico a lato destro (Spa_{dx}) la larghezza delle corsie (L_{corsie}) e infine la tipologia di ostacolo laterale sinistro (O_{sx}). Nello specifico l'interpretazione che si può dare alle variabili esplicative è la seguente:

Interpretazione dei coefficienti	
Att	La velocità media spaziale diminuisce mediamente di 10,26 Km/h se sono presenti attraversamenti pedonali.
L_{rett}	La velocità media spaziale aumenta mediamente di 0,02 Km/h a ogni metro di rettilineo.
Spa_{dx}	La velocità media spaziale aumenta mediamente di 4,86 Km/h se è presente lo spartitraffico a lato destro della corsia di marcia.
L_{corsie}	La velocità media spaziale aumenta mediamente di 2,81 Km/h al crescere di un metro di larghezza di corsia.
O_{sx}	La velocità media spaziale aumenta mediamente di 2,83 Km/h secondo il tipo d'interferenza laterale sinistra (variabile qualitativa).

Tabella 21 Interpretazione dei coefficienti.

Si sono perciò eseguite le verifiche per testare la bontà del modello.

Verifica bontà del modello			
R²_{aggiustato}	Evidenzia come il 73% della variabilità delle velocità medie spaziali sia spiegato dalle variazioni delle variabili: attraversamento, lunghezza del rettilineo, spartitraffico destro, larghezza delle corsie tipologia di ostacolo laterale sinistro.		
Condizioni			Verificato
F di Fischer	$F^* > F_{\text{critico}}$	p-value<0,05	Si
Coerenza segni dei parametri			Si
t di Student sui parametri	$t^* > t_{\text{critico}}$	p-value<0,05	Si
Livello di confidenza dei parametri			Si
VIF	<10	Si	

Tabella 22: Verifica bontà del modello.

Al fine di constatare visivamente se vi siano sostanziali differenze tra i due gruppi di valori e verificarne l'adattabilità. La figura sottostante mostra una buona approssimazione dei valori alla retta (passante per l'origine e con inclinazione di 45°) a conferma della bontà del modello.

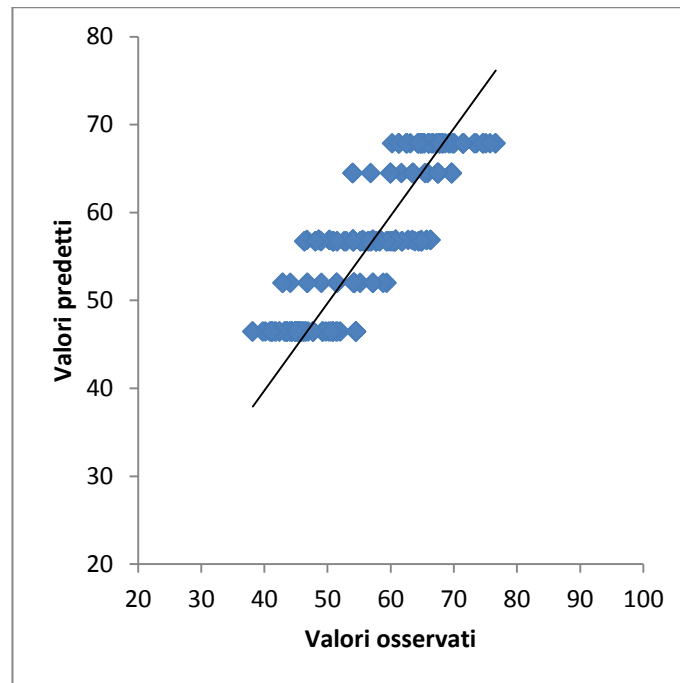


Figura 44: valori predetti in funzione di quelli osservati.

Analisi diagnostica.

Le analisi dei diagrammi a dispersione dei residui in funzione sia dei valori attesi sia del tempo confermano che la linearità, omoschedasticità e indipendenza sono state rispettate dato che, come si può notare nelle figure sottostanti, i punti si dispongono in modo casuale su un'area omogenea.

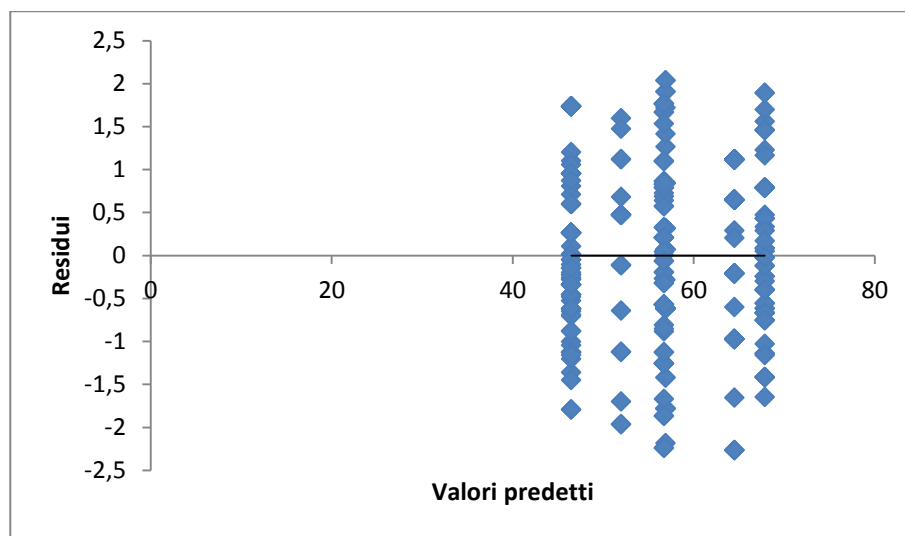


Figura 45: valori residuali in funzione di quelli predetti.

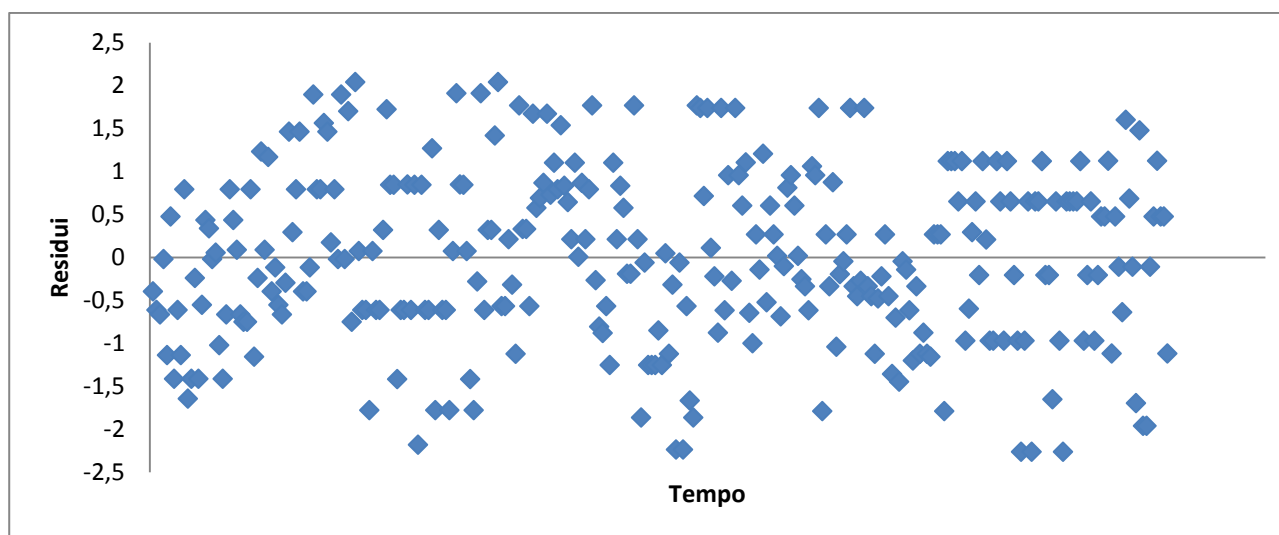


Figura 46: valori residuali in funzione del tempo.

Verifica di normalità.

L'istogramma dei residui, riportato nella seguente figura, fornisce una prima conferma di normalità, infatti, il 97,3% dei residui ricade tra [-1,9; +1,9].

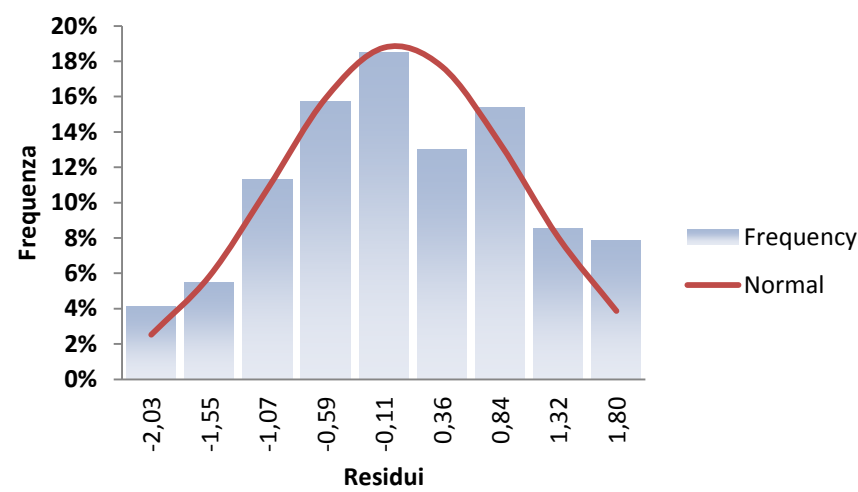


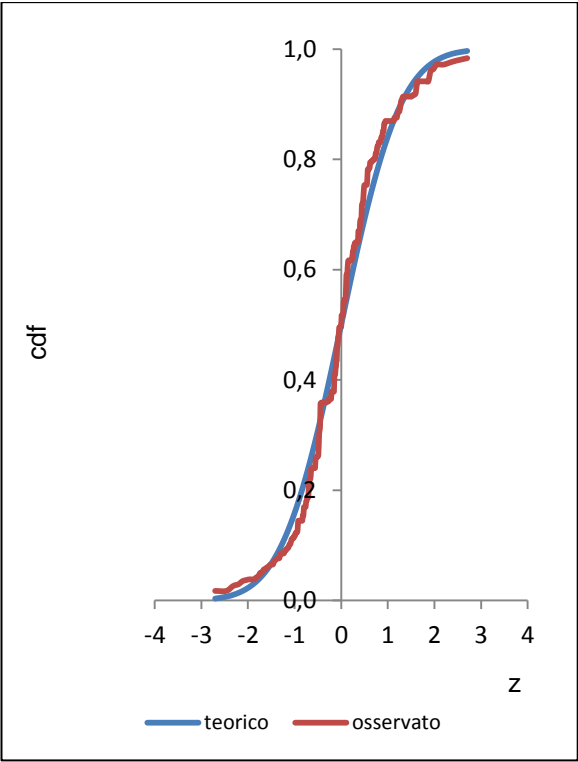
Figura 47: istogramma dei residui.

Per completezza si riportano in tabella i dati numerici.

Intervallo	Estremo inferiore	Estremo superiore	Valore centrale	Freq	Freq Cum.	Distribuzione Normale
1	-2,26	-1,79	-2,03	4,1%	4,1%	2,5%
2	-1,79	-1,31	-1,55	5,5%	9,6%	5,8%
3	-1,31	-0,83	-1,07	11,3%	20,9%	10,8%
4	-0,83	-0,35	-0,59	15,8%	36,6%	15,9%
5	-0,35	0,13	-0,11	18,5%	55,1%	18,8%
6	0,13	0,60	0,36	13,0%	68,2%	17,7%
7	0,60	1,08	0,84	15,4%	83,6%	13,3%
8	1,08	1,56	1,32	8,6%	92,1%	8,0%
9	1,56	2,04	1,80	7,9%	100,0%	3,9%

Tabella 23: Distribuzione di frequenza dei residui.

Il test di Kolmogorv-Sminov (paragrafo 3.2] ha confermato la normalità dei residui come riportato nella figura sottostante.



N° di osservazioni	292
D max abs	0,070
D max+	0,060
D max-	0,070
α	0,05
p-value	>0,200
Conclusione: i dati sono normalmente distribuiti	$D_{\max abs} \leq d_{1-\alpha}$ P-value>5%

Figura 48: test di normalità (Kolmogorov-Sminov).

L’ultima verifica eseguita per testare la normalità dei residui è rappresentata dal grafico QQ-plot. Come si può notare i valori residuali si dispongono lungo la bisettrice pertanto si può dedurre che la verifica di normalità è valida.

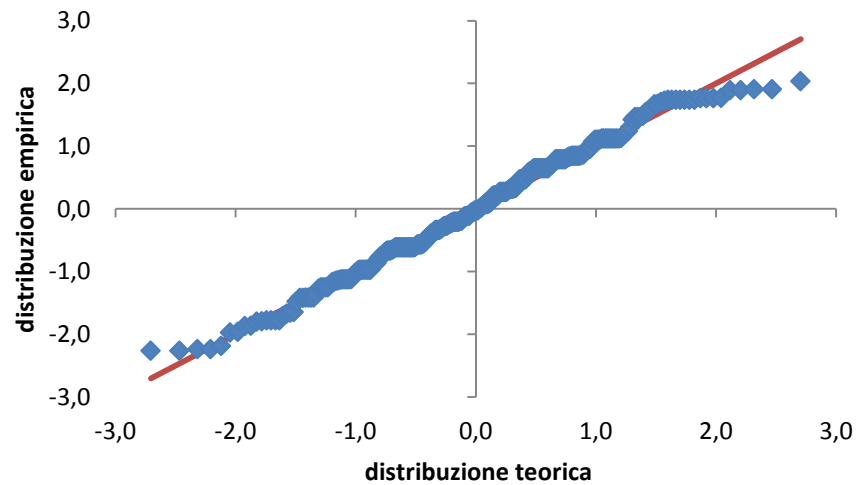


Figura 49 QQ-plot dei residui.

L'ultima fase dell'analisi diagnostica del modello consiste nell'indagare la presenza di anomalie (outliers) mediante l'individuazione dei punti di leva (valori di Leverage) e osservazioni influenti attraverso il calcolo della distanza di Cook. Tali verifiche si possono svolgere graficamente. Per quanto concerne i punti di leva è stato determinato il valore critico, tramite la 3.4.2, oltre il quale l'osservazione può considerarsi influente. Come si può osservare dal grafico i valori si trovano tutti sotto il valore critico pari a 0,04.

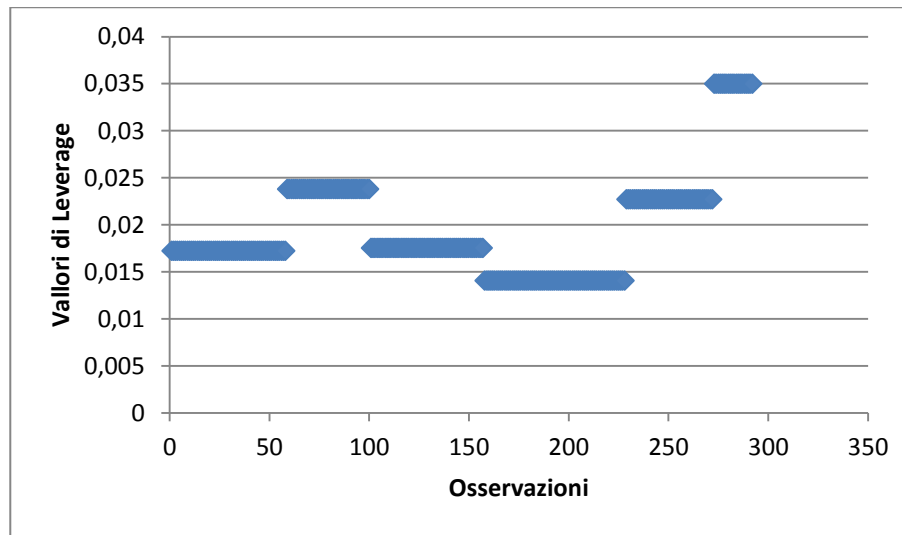


Figura 50 valori di Leverage in funzione delle osservazioni.

Il passo successivo è stato quello di determinare la distanza di Cook secondo la relazione 3.4.3. Come si può notare dalla seguente figura, tutti i valori rispettano la condizione di essere inferiori a 1, il massimo valore registrato è 0,0093.

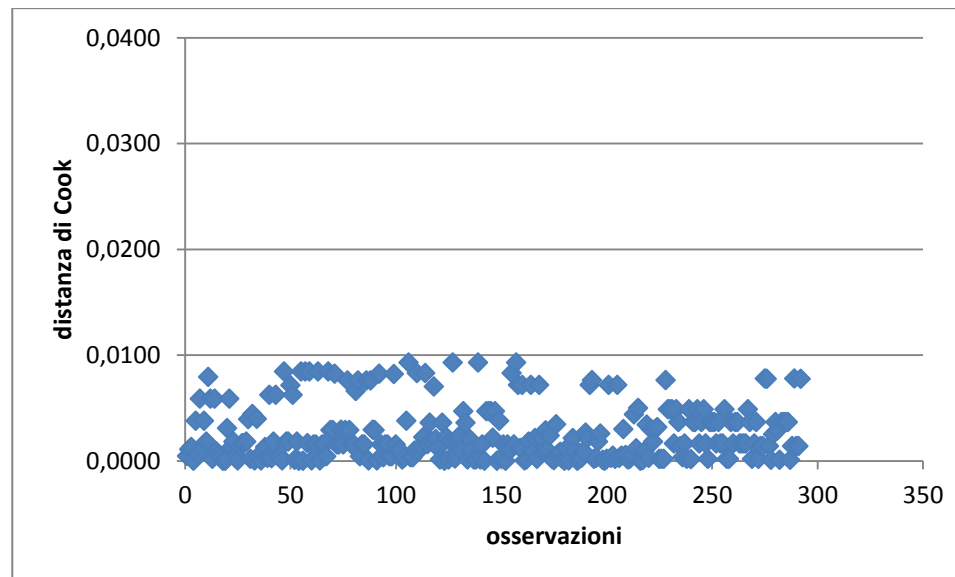


Figura 51 distanza di Cook in funzione delle osservazioni.

In conclusione il primo modello trovato per descrivere il comportamento dell'utente in condizioni di flusso libero, è il seguente:

$$VFL_{ms} = 25,23 - 10,26 Att + 0,02 L_{rett} + 4,86 Spa_{dx} + 2,81 L_{corsie} + 2,83 O_{sx}$$

(modello 3)

In cui:

VFL_{ms} = Velocità media spaziale a flusso libero.

Att = Attraversamento.

L_{rett} = Lunghezza del rettilineo.

Spa_{dx} = Spartitraffico lato destro.

L_{corsie} = Larghezza delle corsie.

O_{sx} = Ostacolo laterale sinistro.

Tale modello rileva che le velocità dei veicoli in condizione di libera circolazione sono influenzate dalla presenza di attraversamenti pedonali, dalla lunghezza del rettilineo, dalla presenza di spartitraffico a lato destro della corsia di marcia, dalla larghezza delle corsie e dalla tipologia di ostacolo laterale sinistro.

- Secondo modello generale costruito con le strade Via Lungo Saline, Viale Marconi, Viale Poetto, Viale Diaz, Viale Elmas, Via Monastir.

Un ulteriore modello costruito nelle stesse condizioni del precedente è descritto come segue.

Statistica della regressione							
R multiplo	0,858						
R ²	0,736						
R ² _{aggiustato}	0,732						
Errore standard	4,695						
Osservazioni	292						
ANALISI VARIANZA							
	<i>gdl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>		
Regressione	4	17593,07	4398,27	199,56	1,36E-81		
Residuo	287	6325,30	22,04				
Totale	291	23918,37					
Livelli di confidenza							
<i>Variabili</i>	<i>Coefficienti</i>	<i>Errore standard</i>	<i>Stat t</i>	<i>p-value</i>	<i>Inferiore 95%</i>	<i>Superiore 95%</i>	<i>VIF</i>
Intercetta	37,02	2,53	14,65	1,15E-36	32,05	42,00	
L _{rett}	0,03	0,00	11,66	5,66E-26	0,03	0,04	4,14
Spa _{dx}	7,43	0,95	7,79	1,25E-13	5,55	9,31	1,92
O _{dx}	1,34	0,38	3,48	0,000579	0,58	2,09	4,95
P _{accessi}	-3,56	0,26	-13,80	1,38E-33	-4,07	-3,05	1,45

Tabella 24 Risultati della regressione multipla lineare.

Le variabili indipendenti che si sono rivelate influenti, per le velocità praticate dagli utenti in condizioni di flusso libero, sono la lunghezza del tronco in rettilineo all'interno del quale ricade la sezione di studio (L_{rett}), la presenza di spartitraffico a lato dextro (Spa_{dx}), l'ostacolo laterale dextro espresso come la larghezza in metri (O_{dx}) e infine la presenza di punti di accesso (P_{accessi}). Nello specifico l'interpretazione che si può dare alle variabili esplicative è la seguente:

Interpretazione dei coefficienti	
L_{rett}	La velocità media spaziale aumenta mediamente di 0,03 Km/h a ogni metro di rettilineo.
Spa_{dx}	La velocità media spaziale aumenta mediamente di 7,43 Km/h se è presente lo spartitraffico al lato destro della corsia di marcia.
O_{dx}	La velocità media spaziale aumenta mediamente di 1,34 Km/h a ogni metro di larghezza libera su lato destro della corsia di marcia.
P_{accessi}	La velocità media spaziale diminuisce mediamente di 3,56 Km/h in base alla disposizione dei punti di accesso.

Tabella 25: Interpretazione dei coefficienti.

Si sono perciò eseguite le verifiche per testare la bontà del modello.

Verifica bontà del modello			
R²_{aggiustato}	Evidenzia come il 73% della variabilità delle velocità medie spaziali sia spiegato dalle variazioni delle variabili: lunghezza del rettilineo, presenza di spartitraffico al lato destro della corsia di marcia, larghezza dell’ostacolo laterale destro e punti di accesso.		
Condizioni			Verificato
F di Fischer	$F^* > F_{\text{critico}}$	p-value < 0,05	Si
Coerenza segni dei parametri			Si
t di Student sui parametri	$t^* > t_{\text{critico}}$	p-value < 0,05	Si
Livello di confidenza dei parametri			Si
VIF	< 10	Si	

Tabella 26 Verifica bontà del modello.

Per constatare visivamente se vi siano sostanziali differenze tra i due gruppi di valori e verificarne l’adattabilità. La figura sottostante mostra una buona approssimazione dei valori alla retta (passante per l’origine e con inclinazione di 45°) a conferma della bontà del modello.

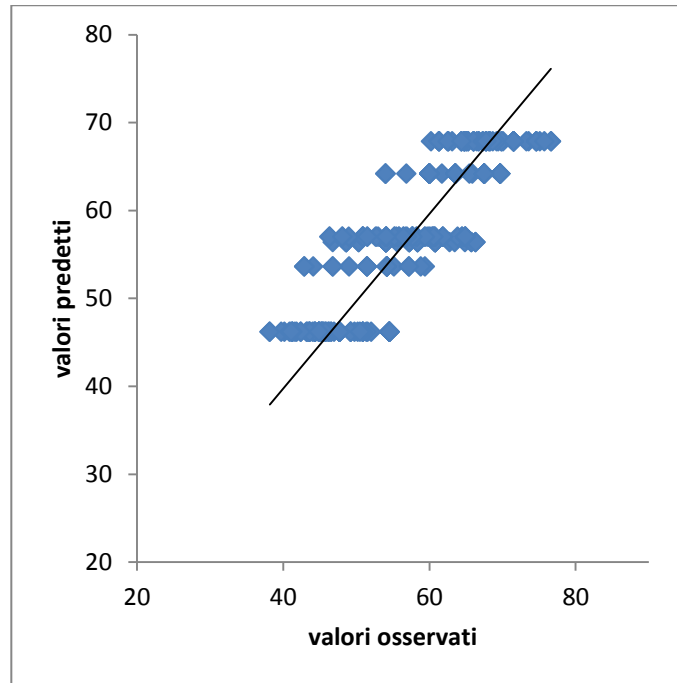


Figura 52: valori predetti in funzione di quelli osservati.

Analisi diagnostica.

Le analisi dei diagrammi a dispersione dei residui in funzione sia dei valori attesi sia del tempo confermano che la linearità, omoschedasticità e indipendenza sono state rispettate dato che, come si può notare nelle figure sottostanti, i punti si dispongono in modo casuale su un'area omogenea.

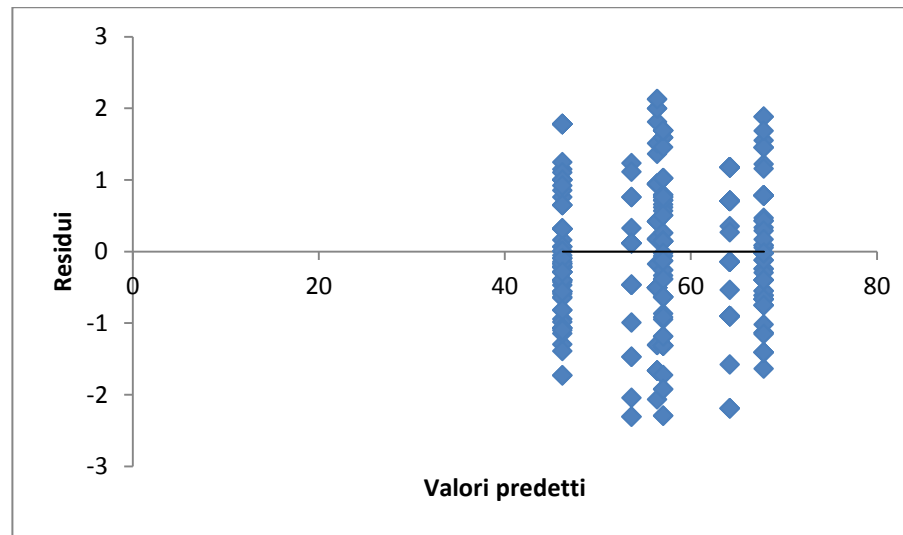


Figura 53 valori residuali in funzione di quelli predetti.

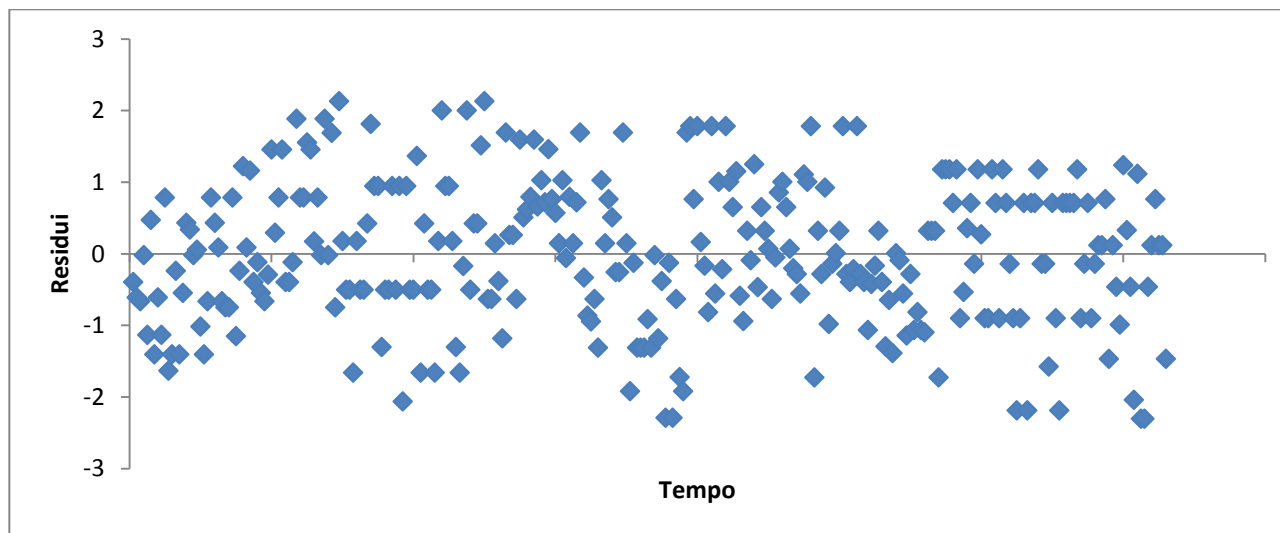


Figura 54: valori residuali in funzione del tempo.

Verifica di normalità.

L'istogramma dei residui, riportato nella seguente figura, fornisce una prima conferma di normalità, infatti, il 95,5% dei residui ricade tra [-1,9; +1,9].

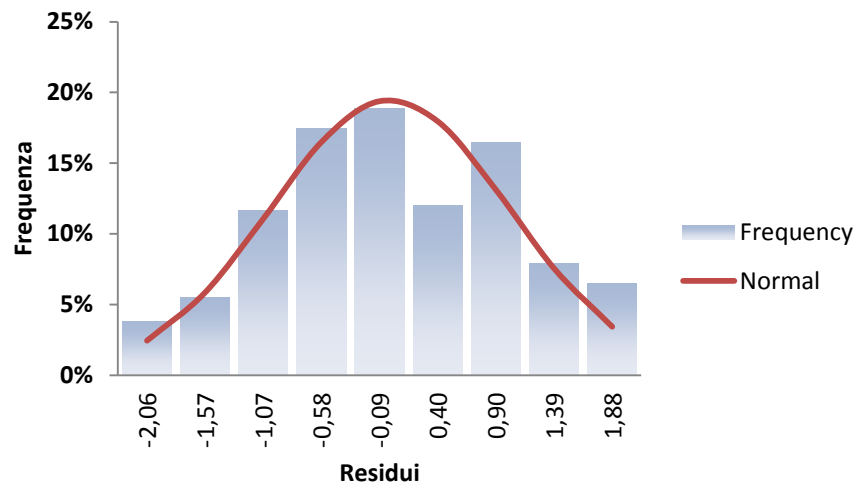


Figura 55: istogramma dei residui.

Per completezza si riportano in tabella i dati numerici.

Intervalli	Estremo inferiore	Estremo superiore	Valore centrale	Freq	Freq Cum.	Distribuzione Normale
1	-2,30	-1,81	-2,06	3,8%	3,8%	2,4%
2	-1,81	-1,32	-1,57	5,5%	9,2%	5,9%
3	-1,32	-0,83	-1,07	11,6%	20,9%	11,1%
4	-0,83	-0,33	-0,58	17,5%	38,4%	16,5%
5	-0,33	0,16	-0,09	18,8%	57,2%	19,4%
6	0,16	0,65	0,40	12,0%	69,2%	18,0%
7	0,65	1,14	0,90	16,4%	85,6%	13,1%
8	1,14	1,64	1,39	7,9%	93,5%	7,6%
9	1,64	2,13	1,88	6,5%	100,0%	3,4%

Tabella 27: Distribuzione di frequenza dei residui

Il test di Kolmogorv-Sminov (paragrafo 3.2) ha confermato la normalità dei residui come riportato nella figura sottostante.

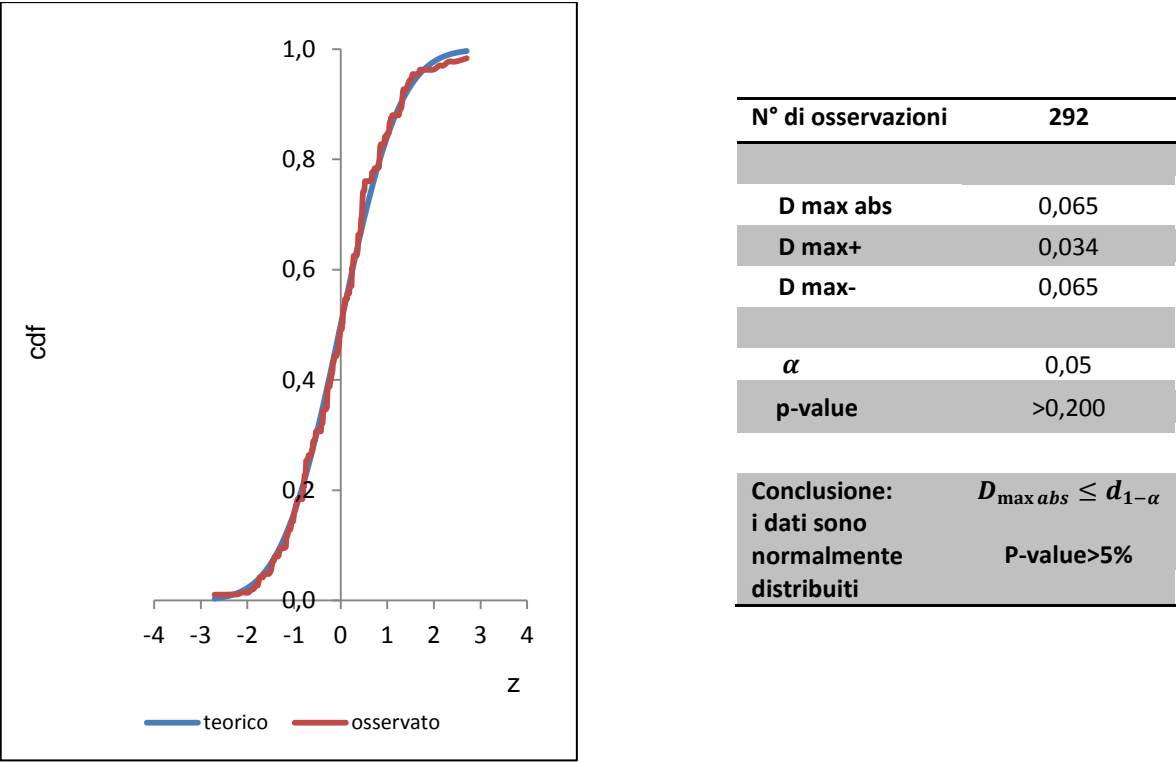


Figura 56: test di normalità (Kolmogorov-Sminov).

L’ultima verifica eseguita per testare la normalità dei residui è rappresentata dal grafico QQ-plot. Come si può notare i valori residuali si dispongono lungo la bisettrice pertanto si può dedurre che la verifica di normalità è valida.

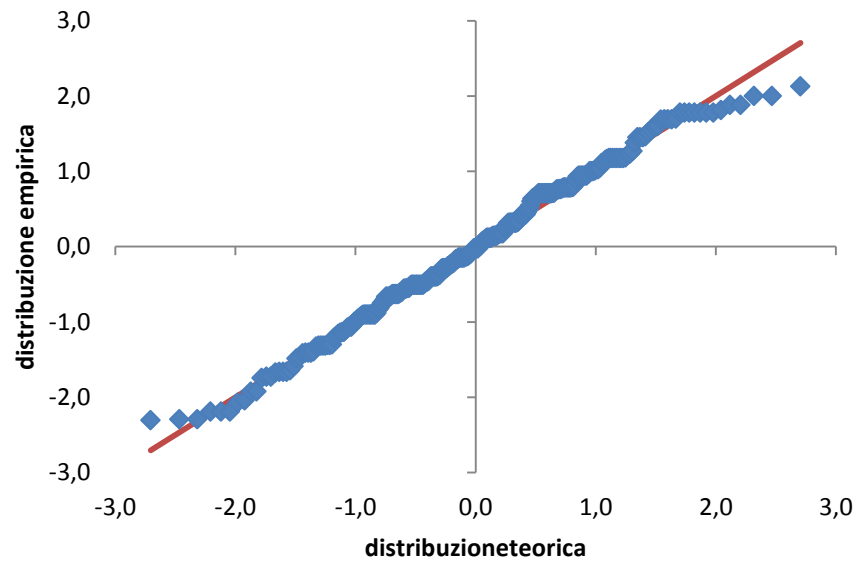


Figura 57: QQ-plot dei residui.

L'ultima fase dell'analisi diagnostica del modello consiste nell'indagare la presenza di anomalie (outliers) mediante l'individuazione dei punti di leva (valori di Leverage) e osservazioni influenti attraverso il calcolo della distanza di Cook. Tali verifiche si possono svolgere graficamente. Per quanto concerne i punti di leva è stato determinato il valore critico, tramite la 3.4.2, oltre il quale l'osservazione può considerarsi influente. Come si può osservare dal grafico i valori si trovano tutti sotto il valore critico pari a 0,034.

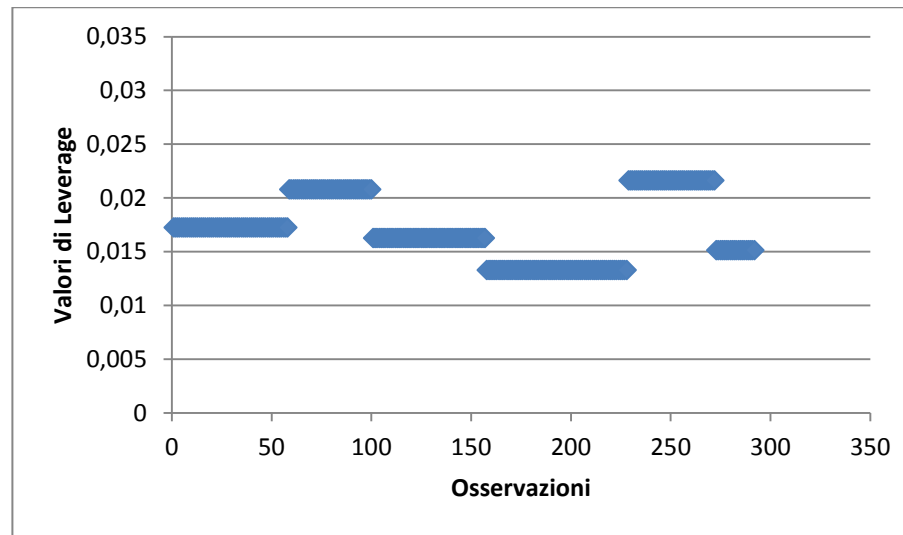


Figura 58: valori di Leverage in funzione delle osservazioni.

Il passo successivo è stato quello di determinare la distanza di Cook secondo la relazione 3.4.3. Come si può notare dalla seguente figura, tutti i valori rispettano la condizione di essere inferiori a 1, il massimo valore registrato è 0,0099.

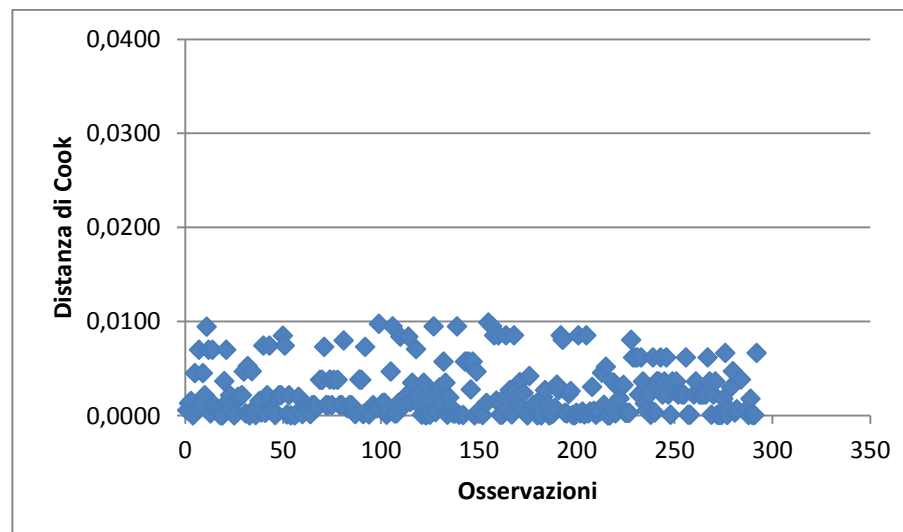


Figura 59: distanza di Cook in funzione delle osservazioni.

In conclusione il secondo modello trovato per descrivere il comportamento dell'utente in condizioni di flusso libero, è il seguente:

$$VFL_{ms} = 37,02 + 0,03 L_{rett} + 7,43 Spa_{dx} + 1,34 O_{dx} + 2,83 P_{accessi}$$

(modello 4)

VFL_{ms} = Velocità media spaziale a flusso libero.

L_{rett} = Lunghezza del rettilineo.

Spa_{dx} = Spartitraffico lato destro.

O_{dx} = Ostacolo laterale destro.

$P_{accessi}$ = Punti di accesso.

Tale modello mette in evidenza che le velocità dei veicoli isolati sono influenzate dalla lunghezza del rettilineo, dalla presenza dello spartitraffico a destra della corsia di marcia, dallo spazio transitabile al lato destro della corsia di marcia e infine dalla presenza di punti di accesso.

- Modello “specifico” costruito con le strade Via Lungo Saline, Viale Marconi, Viale Poetto, Viale Diaz.

Come per i modelli costruiti in condizione di normale traffico, anche per lo studio del comportamento di guida del veicolo isolato si è voluto investigare sulla tipologia di spartitraffico caratteristico delle strade a doppia corsia di marcia. Il risultato è il seguente.

<i>Statistica della regressione</i>	
R multiplo	0,867
R ²	0,753
R ² _{aggiustato}	0,749
Errore standard	4,637
Osservazioni	228

ANALISI VARIANZA					
	<i>gdl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>p-value</i>
Regressione	3	14643,81	4881,27	227,05	1,24E-67
Residuo	224	4815,59	21,50		
Totale	227	19459,40			

Livelli di confidenza							
<i>Variabili</i>	<i>Coefficienti</i>	<i>Errore standard</i>	<i>Stat t</i>	<i>p-value</i>	<i>Inferiore 95%</i>	<i>Superiore 95%</i>	<i>VIF</i>
Intercetta	34,78	2,18	15,98	7,05E-39	30,49	39,06	
L _{rett}	0,03	0,00	9,66	1,09E-18	0,03	0,04	1
Spa _{sx}	3,55	0,31	11,37	5,94E-24	2,93	4,16	1,16
Att	-6,71	0,88	-7,66	5,39E-13	-8,43	-4,98	1,74

Tabella 28: Risultati della regressione multipla lineare.

Le variabili indipendenti che si sono rivelate influenti, per le velocità praticate dagli utenti in condizioni di flusso libero, sono la lunghezza del tronco in rettilineo all'interno del quale ricade la sezione di studio (L_{rett}), la presenza di spartitraffico centrale (Spa_{sx}), la presenza di attraversamenti pedonali (Att). Nello specifico l'interpretazione che si può dare alle variabili esplicative è la seguente:

Interpretazione dei coefficienti	
L_{rett}	La velocità media spaziale aumenta mediamente di 0,03 Km/h a ogni metro di rettilineo.
Spa_{sx}	La velocità media spaziale aumenta mediamente di 3,55 Km/h se è presente lo spartitraffico centrale.
Att	La velocità media spaziale diminuisce mediamente di 6,71 Km/h se sono presenti attraversamenti pedonali.

Tabella 29 Interpretazione dei coefficienti.

Si sono perciò eseguite le verifiche per testare la bontà del modello.

Verifica bontà del modello			
R²_{aggiustato}	Evidenza come il 74,9% della variabilità delle velocità medie spaziali sia spiegato dalle variazioni delle variabili: lunghezza del rettilineo, spartitraffico sinistro e attraversamenti pedonali.		
	Condizioni		Verificato
F di Fischer	$F^* > F_{\text{critico}}$	p-value < 0,05	Si
Coerenza segni dei parametri			Si
t di Student sui parametri	$t^* > t_{\text{critico}}$	p-value < 0,05	Si
Livello di confidenza dei parametri			Si
VIF	< 10		Si

Tabella 30 Verifica bontà del modello.

Al fine di constatare visivamente se vi siano sostanziali differenze tra i due gruppi di valori e verificarne l’adattabilità. La figura sottostante mostra una buona approssimazione dei valori alla retta (passante per l’origine e con inclinazione di 45°) a conferma della bontà del modello.

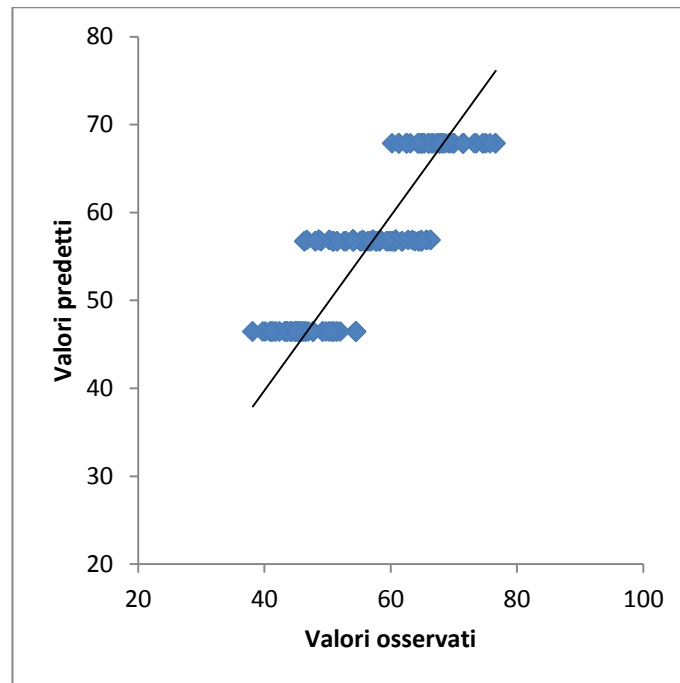


Figura 60: valori predetti in funzione di quelli osservati.

Analisi diagnostica.

Le analisi dei diagrammi a dispersione dei residui in funzione sia dei valori attesi sia del tempo confermano che la linearità, omoschedasticità e indipendenza sono state rispettate dato che, come si può notare nelle figure sottostanti, i punti si dispongono in modo casuale su un'area omogenea.

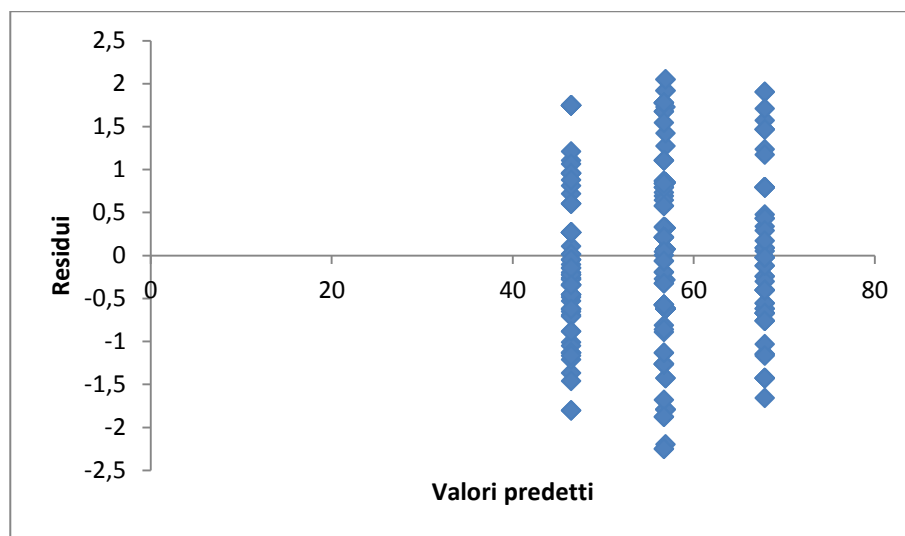


Figura 61: valori residuali in funzione di quelli predetti.

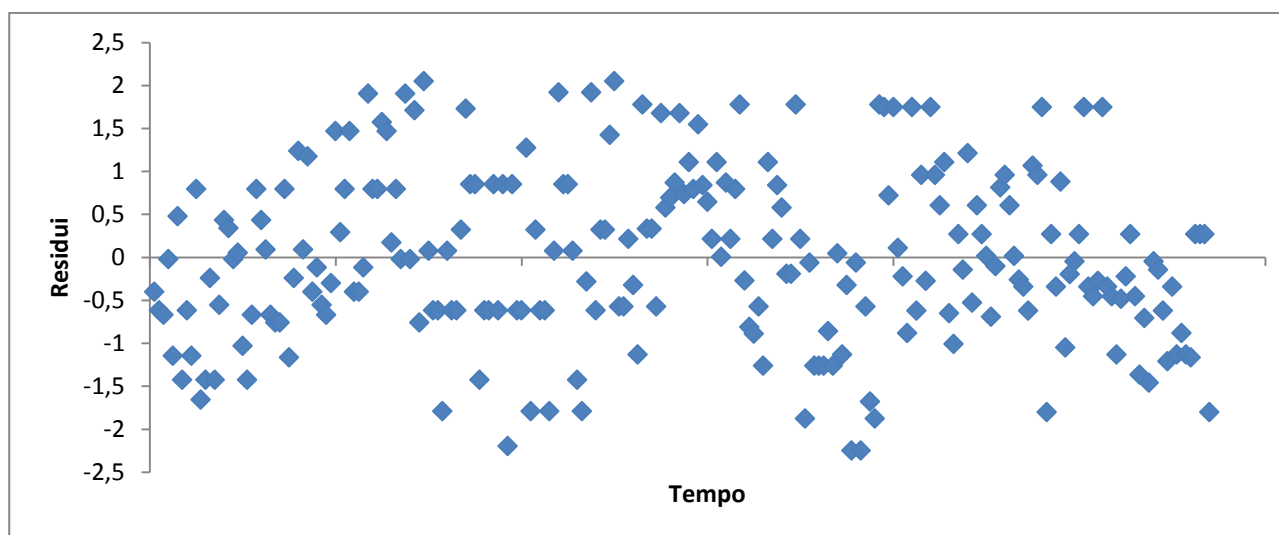


Figura 62: valori residuali in funzione del tempo.

Verifica di normalità.

L’istogramma dei residui, riportato nella seguente figura, fornisce una prima conferma di normalità, infatti, il 98,2% dei residui ricade tra [-1,9; +1,9].

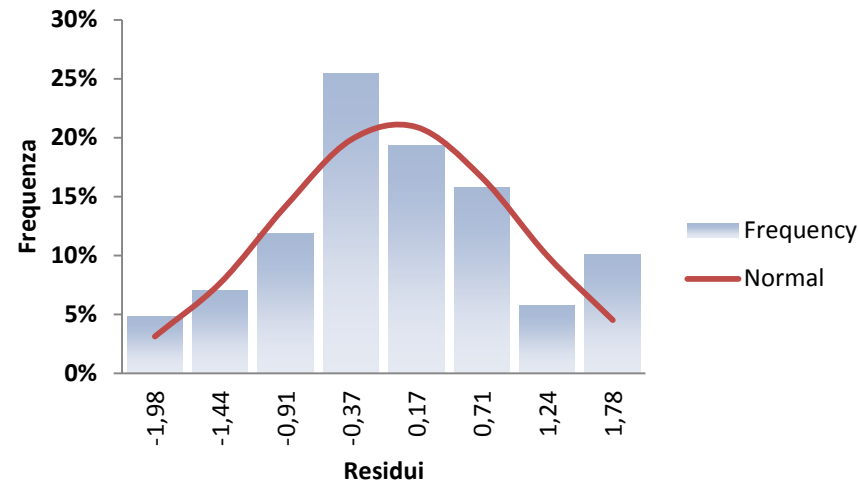


Figura 63: istogramma dei residui.

Per completezza si riportano in tabella i dati numerici.

Intervallo	Estremo inferiore	Estremo superiore	Valore centrale	Freq	Freq Cum.	Distribuzione normale
1	-2,25	-1,71	-1,98	4,8%	4,8%	3,1%
2	-1,71	-1,18	-1,44	7,0%	11,8%	7,7%
3	-1,18	-0,64	-0,91	11,8%	23,7%	14,2%
4	-0,64	-0,10	-0,37	25,4%	49,1%	19,8%
5	-0,10	0,44	0,17	19,3%	68,4%	20,9%
6	0,44	0,97	0,71	15,8%	84,2%	16,6%
7	0,97	1,51	1,24	5,7%	89,9%	10,0%
8	1,51	2,05	1,78	10,1%	100,0%	4,5%

Figura 64: Distribuzione di frequenza dei residui.

Il test di Kolmogorv-Sminov (paragrafo 3.2) ha confermato la normalità dei residui come riportato nella figura sottostante.

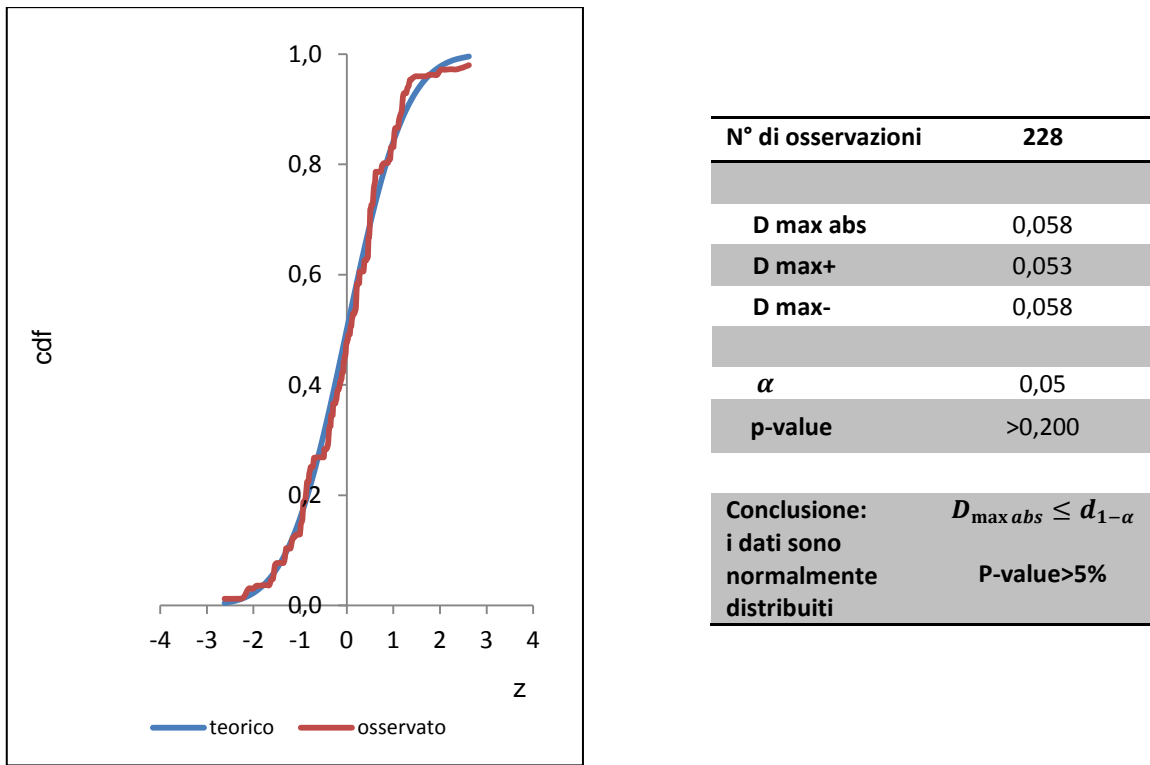


Figura 65: test di normalità (Kolmogorov-Sminov).

L’ultima verifica eseguita per testare la normalità dei residui è rappresentata dal grafico QQ-plot. Come si può notare i valori residuali si dispongono lungo la bisettrice pertanto si può dedurre che la verifica di normalità è valida.

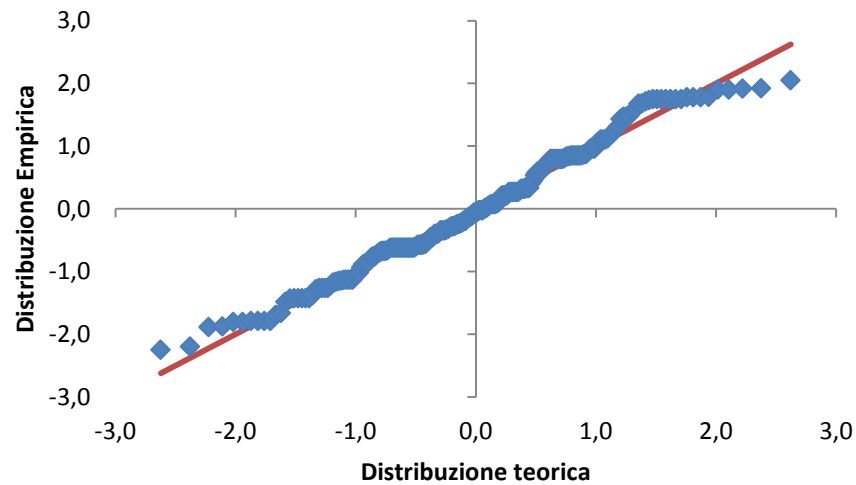


Figura 66 QQ-plot dei residui.

L'ultima fase dell'analisi diagnostica del modello consiste nell'indagare la presenza di anomalie (outliers) mediante l'individuazione dei punti di leva (valori di Leverage) e osservazioni influenti attraverso il calcolo della distanza di Cook. Tali verifiche si possono svolgere graficamente. Per quanto concerne i punti di leva è stato determinato il valore critico, tramite la 3.4.2, oltre il quale l'osservazione può considerarsi influente. Come si può osservare dal grafico i valori si trovano tutti sotto il valore critico pari a 0,035.

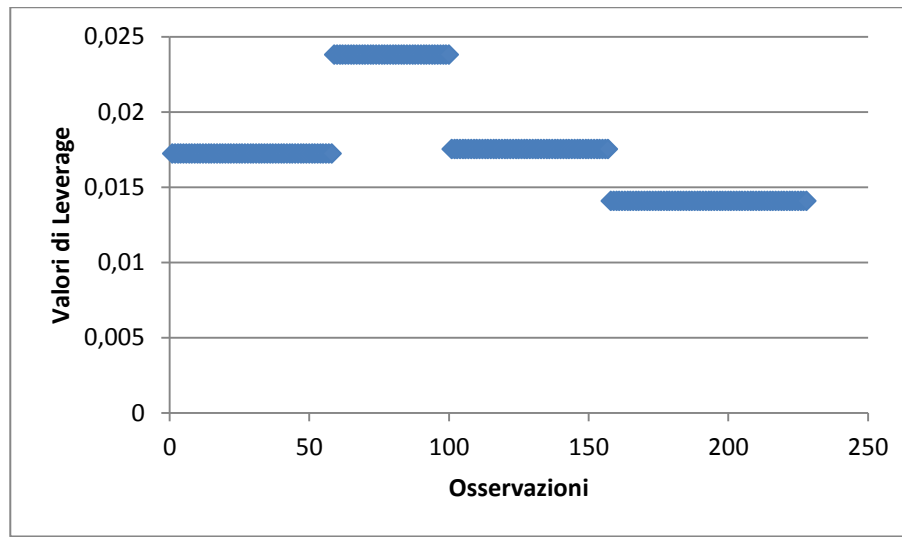


Figura 67 valori di Leverage in funzione delle osservazioni.

Il passo successivo è stato quello di determinare la distanza di Cook secondo la relazione 3.4.3. Come si può notare dalla seguente figura, tutti i valori rispettano la condizione di essere inferiori a 1, il massimo valore registrato è 0,0093.

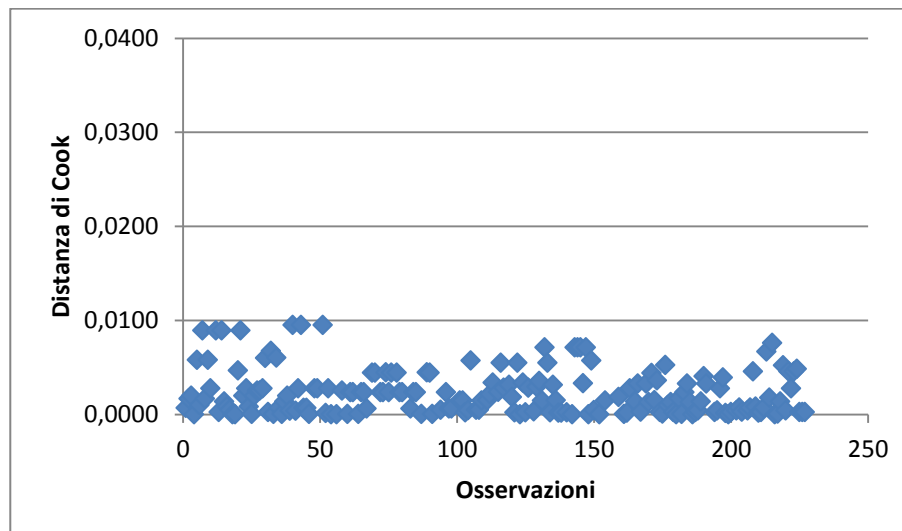


Figura 68 distanza di Cook in funzione delle osservazioni.

In conclusione il modello trovato è il seguente:

$$VFL_{ms} = 34,78 + 0,03 L_{rett} + 3,55 Spa_{sx} - 6,71 Att$$

(modello 5)

In cui:

VFL_{ms} = Velocità media spaziale a flusso libero.

L_{rett} = Lunghezza del rettilineo.

Spa_{sx} = Spartitraffico centrale.

Att = Attraversamento.

Tale modello mette in evidenza che nelle strade a doppia corsia per senso di marcia le velocità dei veicoli in condizione di libera circolazione sono influenzate dalla lunghezza del rettilineo, dalla tipologia di spartitraffico centrale e dalla presenza di attraversamenti pedonali.

5.3 Validazione dei modelli.

La tecnica della validazione è una pratica utile per testare la capacità predittiva di un modello su un nuovo gruppo di dati. Per questo motivo in fase di costruzione dei modelli si sono prese in considerazione tutte le strade ad eccezione di una: Viale Colombo. Quest'ultima è stata scelta per la validazione poiché racchiude in sé il maggior numero di variabili indipendenti individuate su tutte le strade, quindi si presta bene allo scopo. Applicando i modelli al nuovo gruppo di dati si sono confrontati i valori osservati con quelli predetti, ottenuti con l'applicazione del modello, e si è valutato, attraverso le tecniche statistiche descritte nel paragrafo 3.5, se vi fosse una sostanziale differenza tra essi.

In condizioni di normale traffico si sono individuati due modelli i quali sono stati sottoposti a validazione come esposto sotto.

- Modello 1.

$$V_{ms} = 14,21 - 0,05 F - 0,64 F_{e,u} - 11,84 Att + 0,03 L_{rett} + 3,84 O_{sx} + 4,07 L_{corsie}$$

In cui:

V_{ms} = Velocità media spaziale.

F = Flusso veicolare

$F_{e,u}$ = Flusso entrante e uscente dalla corrente veicolare

Att = Attraversamento.

L_{rett} = Lunghezza del rettilineo.

O_{sx} = Ostacolo laterale sinistro.

L_{corsie} = Larghezza delle corsie.

Come per la costruzione dei modelli si può eseguire una prima indagine grafica mettendo in relazione i valori osservati con quelli predetti per capire se vi è una sostanziale differenza tra i due valori. La figura sottostante

mostra una buona approssimazione dei valori alla retta (passante per l'origine e con inclinazione di 45°) quindi conferma l'affidabilità del modello.

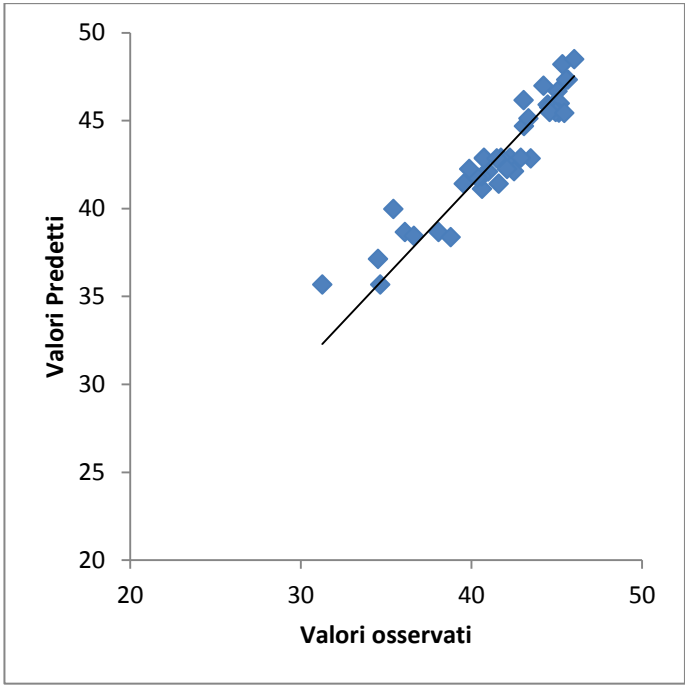


Figura 69: modello 1 valori predetti in funzione di quelli osservati.

Quindi si è applicato il test di Kolmogorov-Smirnov che ha confermato che non vi è alcuna discrepanza tra i valori osservati e quelli predetti. Il test ha prodotto il seguente risultato:

Test Kolmogorov-Smirnov per due campioni.	
Alpha	0,05
D-stat	0,268293
p-value calcolato	0,086358
D-crit	0,29069
Numero di valori osservati	41
Numero di valori predetti	41
Verifiche:	
D-stat<D-critico	Si
p-value calcolato> 0,05	Si

Tabella 31: Validazione modello 1 mediante Test di Kolmogorv-Smirnov.

- Modello 2.

Lo stesso procedimento è stato applicato per il secondo modello.

$$V_{ms} = 21,80 - 0,60 F_{e,u} + 4,11 Spa_{sx} + 0,05 L_{rett}$$

In cui:

- V_{ms} = Velocità media spaziale.
- Att = Attraversamento.
- Spa_{sx} = Spartitraffico centrale.
- L_{rett} = Lunghezza del rettilineo.

Anche in questo caso si sono messi in relazione i valori osservati con quelli predetti per capire se vi è una sostanziale differenza tra i due valori. La figura sottostante mostra una buona approssimazione dei valori alla retta (passante per l’origine e con inclinazione di 45°) quindi conferma l’affidabilità del modello.

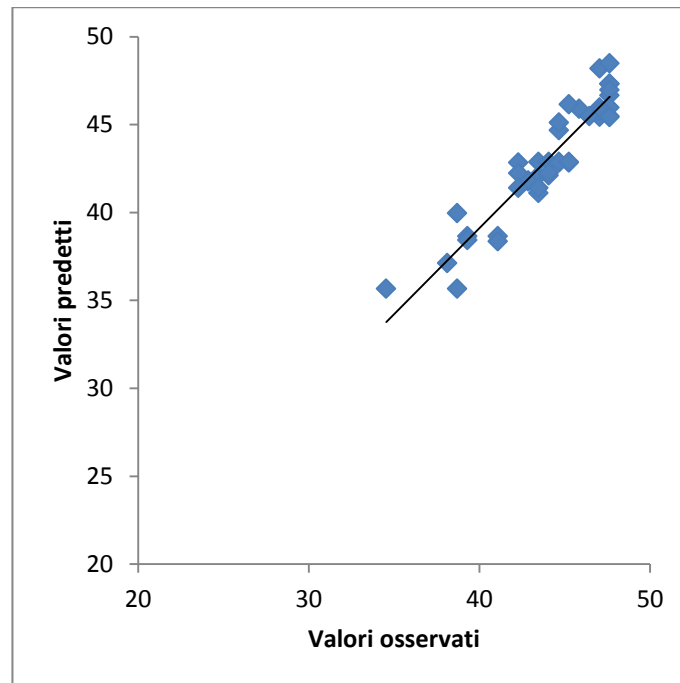


Tabella 32: modello 2 valori predetti in funzione di quelli osservati.

Quindi si è applicato il test di Kolmogorov-Smirnov che ha confermato che non vi è alcuna differenza tra i valori osservati e quelli predetti. Il test ha prodotto il seguente risultato:

Test Kolmogorov-Smirnov per due campioni.	
Alpha	0,05
D-stat	0,268293
p-value calcolato	0,086358
D-crit	0,29069
Numero di valori osservati	41
Numero di valori predetti	41
Verifiche:	
D-stat<D-critico	Si
p-value calcolato> 0,05	Si

Tabella 33: Validazione modello 2 mediante Test di Kolmogorv-Smirnov.

Per quanto concerne i tre modelli ottenuti in condizioni di flusso libero non è stato possibile utilizzare il test di Kolmogorov-Smirnov poiché la numerosità dei due gruppi di dati è differente: i valori osservati vengono confrontati con un unico valore predetto. Per tale motivo si è preferito utilizzare il test T per campioni appaiati per medie (Paired Sample t Test).

- Modello 3.

$$VFL_{ms} = 25,23 - 10,26 Att + 0,02 L_{rett} + 4,86 Spa_{dx} + 2,81 L_{corsie} + 2,83 O_{sx}$$

In cui:

VFL_{ms} = Velocità media spaziale a flusso libero.

Att = Attraversamento.

L_{rett} = Lunghezza del rettilineo.

Spa_{dx} = Spartitraffico lato destro.

L_{corsie} = Larghezza delle corsie.

O_{sx} = Ostacolo laterale sinistro.

Tale modello è stato applicato ai dati di Viale Colombo ed è stato eseguito il test T per campioni accoppiati tra i valori osservati e quelli predetti. Dal test si sono ricavati i seguenti risultati che confermano l'affidabilità del modello.

Test t: due campioni accoppiati per medie		
	Osservati	Predetti
Media	47,84714	47,46644
Varianza	21,0343	
Osservazioni	56	
gdl	55	
Stat t	0,621171	
p-value calcolato	0,537053	
t critico due code	2,004045	
Verifiche:		
Stat t < t critico		Si
p-value > 0,05		Si

Tabella 34 validazione modello 3 mediante Test t: due campioni accoppiati per medie.

- Modello 4.

$$VFL_{ms} = 37,02 + 0,03 L_{rett} + 7,43 Spa_{dx} + 1,34 O_{dx} + 2,83 P_{accessi}$$

In cui:

VFL_{ms} = Velocità media spaziale.

L_{rett} = Lunghezza del rettilineo.

Spa_{dx} = Spartitraffico lato destro.

O_{dx} = Ostacolo laterale destro.

$P_{accessi}$ = Punti di accesso.

Anche tale modello è stato applicato ai dati relativi a Viale Colombo e i risultato del test T per campioni accoppiati per medie ha prodotto i seguenti risultati che confermano l'affidabilità del modello.

Test t: due campioni accoppiati per medie		
	Osservati	Predetti
Media	47,84714	47,03336
Varianza	21,0343	
Osservazioni	56	
gdl	55	
Stat t	1,32781	
p-value calcolato	0,189726	
t critico due code	2,004045	
Verifiche:		
Stat t < t critico		Si
p-value > 0,05		Si

Tabella 35 validazione modello 4 mediante Test t: due campioni accoppiati per medie.

- Modello 5.

$$VFL_{ms} = 34,78 + 0,03 L_{rett} + 3,55 Spa_{sx} - 6,71 Att$$

In cui:

VFL_{ms} = Velocità media spaziale.

L_{rett} = Lunghezza del rettilineo.

Spa_{sx} = Spartitraffico centrale.

Att = Attraversamento.

Come si può evincere dalla tabella sottostante per tale modello il test T per campioni accoppiati per medie non ha dato esito positivo poiché vi è una differenza eccessiva tra la media delle velocità medie osservate e quella predetta. In definitiva si può affermare che il modello non restituisce velocità rispondenti al comportamento reale, pertanto il modello necessita di un ulteriore approfondimento. Per risolvere il problema si potrebbe pensare a incrementare il numero di dati.

Test t: due campioni accoppiati per medie		
	Osservati	Predetti
Media	47,84714	45,8034
Varianza	21,0343	
Osservazioni	56	
gdl	55	
Stat t	3,334695	
P(T<=t) due code	0,001534	
t critico due code	2,004045	
Verifiche:		
Stat t< t critico	No	
p-value>0,05	No	

Tabella 36 validazione modello 5 mediante Test t: due campioni accoppiati per medie.

5.4 Quadro riassuntivo dei modelli.

Modelli in condizione di normale traffico		
	R ²	Validato.
$V_{ms} = 14,21 - 0,05 F - 0,64 F_{e,u} - 11,84 Att + 0,03 L_{rett} + 3,84 O_{sx} + 4,07L_{corsie}$	0,81	Si
$V_{ms} = 21,80 - 0,60 F_{e,u} + 4,11 Spa_{sx} + 0,05 L_{rett}$	0,84	Si
Modelli in condizione di libera circolazione		
$VFL_{ms} = 25,23 - 10,26 Att + 0,02 L_{rett} + 4,86 Spa_{dx} + 2,81L_{corsie} + 2,83 O_{sx}$	0,73	Si
$VFL_{ms} = 37,02 + 0,03 L_{rett} + 7,43 Spa_{dx} + 1,34O_{dx} + 2,83 P_{accessi}$	0,73	Si
$VFL_{ms} = 34,78 + 0,03 L_{rett} + 3,55 Spa_{sx} - 6,71 Att$	0,75	No

In cui:

V_{ms}	=	Velocità media spaziale (riferita ai 5 minuti).
VFL_{ms}	=	Velocità media spaziale a flusso libero (riferita ai 5 minuti).
F	=	Flusso veicolare (riferito ai 5 minuti).
$F_{e,u}$	=	Flusso entrante e uscente dalla corrente veicolare (riferito ai 5 minuti).
Att	=	Attraversamento.
L_{rett}	=	Lunghezza del rettilineo all'interno del quale ricade la sezione in esame.
O_{sx}	=	Ostacolo laterale sinistro.
L_{corsie}	=	Larghezza delle corsie.
Spa_{dx}	=	Spartitraffico presente al lato destro della corsia di marcia.
Spa_{sx}	=	Tipologia di Spartitraffico centrale.
O_{dx}	=	Larghezza dell'ostacolo laterale destro.
$P_{accessi}$	=	Presenza di punti di accesso.

È lecito chiedersi quale tra questi modelli sia il migliore, ma in termini statistici non esiste un modello che si possa definire tale. La preferenza di un modello rispetto a un altro dipende dal progettista che sceglie in base ai propri parametri iniziali e quindi alle variabili indipendenti, quello che risponde ai quesiti preposti, permettendogli di conseguire risultati ottimali.

6. Conclusioni.

Il fenomeno dell'incidentalità ha effetti che incidono sul tessuto sia sociale che economico. Questa constatazione ha spinto i Paesi di ogni continente a predisporre misure atte a favorire la riduzione dei sinistri. Nonostante i numerosi progressi ottenuti per migliorare la sicurezza stradale negli ambiti della formazione ed educazione degli utenti, della progettazione veicolare e di quella stradale, soprattutto con misure di mitigazione delle velocità, gli incidenti stradali restano tra le prime cause di morte a livello mondiale. Poiché non esiste una soluzione univoca al problema, è opportuno agire sui diversi settori che combinandosi fra loro, incidono in maniera differente sulla sicurezza stradale. Lo scopo principale è quello di fornire a tutte le figure tecniche coinvolte nel miglioramento di questi aspetti, strumenti utili in fase progettuale per il dimensionamento degli elementi del tracciato stradale sulla base del reale comportamento dei guidatori. Per poter perseguire tale obiettivo si è partiti con l'analisi dell'incidentalità che ha mostrato come l'ambito urbano sia quello maggiormente interessato dal fenomeno e soprattutto a livello locale, le strade urbane con due corsie per senso di marcia siano quelle colpite in maggior misura. Partendo da queste strade si è studiato quindi il comportamento di guida dei conducenti in due scenari di traffico cioè normale e libera circolazione. Il criterio adoperato a tal fine ha previsto l'utilizzo di tecniche modellistiche che consentono di comprendere in fase di costruzione gli elementi che influenzano le velocità adottate dai conducenti. È stato così possibile giungere a modelli che permettono di predire la velocità teorica di una strada urbana agendo soltanto sugli elementi caratterizzanti la stessa. Questi ultimi rappresentano proprio le variabili indipendenti dei modelli adottati. Nello specifico, applicando la regressione multipla lineare, si sono costruiti i seguenti algoritmi nei due scenari di traffico, utilizzando come variabile dipendente le velocità medie spaziali:

$$\text{Modello 1: } V_{ms} = 14,21 - 0,05 F - 0,64 F_{e,u} - 11,84 Att + 0,03 L_{rett} + 3,84 O_{sx} + 4,07 L_{corsie}$$

$$\text{Modello 2: } V_{ms} = 21,80 - 0,60 F_{e,u} + 4,11 Spa_{sx} + 0,05 L_{rett}$$

$$\text{Modello 3: } VFL_{ms} = 25,23 - 10,26 Att + 0,02 L_{rett} + 4,86 Spa_{dx} + 2,81 L_{corsie} + 2,83 O_{sx}$$

Modello 4: $VFL_{ms} = 37,02 + 0,03 L_{rett} + 7,43 Spa_{dx} + 1,34 O_{dx} + 2,83 P_{accessi}$

Modello 5: $VFL_{ms} = 34,78 + 0,03 L_{rett} + 3,55 Spa_{sx} - 6,71 Att$

Da questi modelli si può evincere come in condizioni di normale traffico le velocità (V_{ms}) siano influenzate dal flusso (F), dal numero di veicoli che s'immettono ed escono nella corrente veicolare ($F_{e,u}$), dalla presenza di attraversamento pedonale (Att), dalla lunghezza del tronco in rettilineo all'interno del quale ricade la sezione di studio (L_{rett}), dalla tipologia di ostacolo laterale sinistro (O_{sx}), dalla larghezza delle corsie (L_{corsie}) e infine dalla tipologia dello spartitraffico centrale (Spa_{sx}). Invece nei modelli costruiti con le velocità praticate dagli utenti in condizioni di flusso libero (VFL_{ms}), le variabili indipendenti che si sono rivelate influenti sono state la presenza di attraversamento (Att), la lunghezza del tronco in rettilineo all'interno del quale ricade la sezione di studio (L_{rett}), la presenza di spartitraffico a lato destro (Spa_{dx}), la larghezza delle corsie (L_{corsie}), la tipologia di ostacolo laterale sinistro (O_{sx}), l'ostacolo laterale destro espresso come la larghezza in metri (O_{dx}), la presenza di punti di accesso ($P_{accessi}$) e infine la tipologia dello spartitraffico centrale (Spa_{sx}). I modelli sono stati validati per verificare la loro applicabilità e poiché solo il quinto modello non ha risposto in modo ottimale al test, questo presuppone un ulteriore approfondimento risolvibile presumibilmente con una implementazione dei dati.

È lecito chiedersi quale tra questi modelli sia il migliore, ma in termini statistici non esiste un modello che si possa definire tale. La preferenza di un modello rispetto a un altro dipende dal progettista che sceglie in base ai propri parametri iniziali (variabili indipendenti) quello che risponde ai quesiti preposti, permettendogli di conseguire risultati ottimali.

È evidente che esiste un legame più o meno stretto tra comportamento di guida e velocità adottata dai conducenti e poiché i modelli descritti nelle pagine precedenti portano a ottenere come dato finale la velocità media spaziale, è possibile iniziare a colmare le mancanze in letteratura, soprattutto a livello nazionale, di studi riguardanti tali aspetti in ambito urbano. La predizione della velocità media spaziale rappresenta la caratteristica distintiva della presente ricerca rispetto ad altre svolte sul medesimo argomento che puntano invece sulla velocità istantanea come parametro principale. Una particolare attenzione è stata rivolta alla definizione del veicolo isolato, fondamentale per portare avanti gli studi in condizioni di flusso libero. La necessità di tale

interesse è dovuta al fatto che in letteratura non ci si è posti il problema di definire il veicolo isolato, in ambito urbano, per i tratti stradali come quelli esaminati. Per tale ragione, applicando tecniche statistiche, si sono definite le distanze temporali che definiscono un veicolo isolato in rettifili di lunghezza pari a $100 \div 150$ metri. Si è constatato che, in queste circostanze, l'influenza del veicolo di testa è minimo per un tempo pari o maggiore a 6 secondi, mentre il condizionamento dal veicolo che segue è minimo per un distanziamento maggiore o uguale a 4 secondi.

Le difficoltà riscontrate per giungere ai risultati ottenuti sono, come messo in evidenza più volte, non soltanto dovuti alla scarsa produzione scientifica ma anche alla complessità di reperimento dei dati e alla gestione delle variabili. Per quanto concerne quest'ultimo aspetto, l'assenza di una banca di dati ha reso necessario l'esecuzione di campagne di monitoraggio per il rilevamento delle velocità dei veicoli al fine di ottenere una banca dati utile e attendibile per lo studio del comportamento dei guidatori. La creazione della base di dati è stata complessa a causa dell'utilizzo di strumentazione non all'avanguardia che ha richiesto un notevole dispendio di risorse soprattutto in termini di tempo. Gli strumenti utilizzati non forniscono le velocità medie spaziali ma solo quelle istantanee e i relativi tempi di transito. Pertanto è stato compito dell'operatore assegnare ad ogni veicolo i tempi di transito registrati nella sezioni che delimitano il tratto rettilineo oggetto di studio in modo da ricavare manualmente la velocità media spaziale. Un altro aspetto critico ha riguardato la manipolazione delle variabili indipendenti: non sempre, infatti, le misure ottenute mediante rilievo sul campo sono bastate per ottenere l'algoritmo ottimale. Come si può notare da alcuni modelli alcune misure sono state trasformate in giudizi qualitativi, altre sono state ottenute semplicemente sommandole tra loro e per altre ancora è stata considerata solo la presenza o assenza. L'affidabilità dei modelli elaborati non è stata condizionata tanto dalle problematiche riscontrate quanto piuttosto dal campione preso in esame che può essere considerato certamente rappresentativo della realtà locale in termini di abitudini e di conoscenza del territorio attraversato. Intervenendo sul campione si potrebbero ottimizzare i modelli proposti, ma vista la complessità del problema ciò richiederebbe strumenti di analisi e acquisizione dei dati più avanzati. Per concludere le relazioni trovate non costituiscono modelli assoluti e l'auspicio è che i risultati ottenuti possano essere il punto di partenza per

l'implementazione di modelli che, mediante l'aggregazione di più dati riferiti a contesti geografici urbani differenti, possano essere impiegati per tutto il territorio nazionale.

Bibliografia.

1. *GLOBAL STATUS REPORT ON ROAD SAFETY 2013*. Luxembourg. : World Health Organization 2013, 2013. ISBN 978-92-4-156456-4.
2. **Istat, ACI**. *Incidenti stradali 2013*. 2014.
3. *Highway Safety Manual*. Washington : American Association of State Highway and Transportation Officials, 2010. pp. 3-6;3-7. ISBN 978-1-56051-477-0.
4. **MIT**. Decreto Ministeriale 5 novembre 2001, n. 6792 Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade.
5. **Transportation Research Board**. *Modelling Operating Speed: Synthesis Report*. *Transportation Research Circular E-C151*. 2011. <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/circulars/ec151.pdf>.
6. **Montella A., Galante F., Mauriello F., Aria M.** *Continuous Speed Profiles to Investigate Drivers' Behavior on Two-Lane Rural Highways*. s.l. : Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board, 2015. pp. 3-11. Vol. 2521. doi: 10.3141/2521-01.
7. **Bella**. Operating speed predicting models on two-lane rural roads from driving simulation. *Proceedings of the 84th Annual Meeting Transportation Research Record*,. 2005.
8. **A.T. Ali, A. Flannery, M.M. Venigalla**. Prediction models for free flow speed on urban streets. *Presented in Transportation Research Record 86th Annual Meeting*. 2007.
9. **Poe C.M., Mason J.M.** Analyzing influence of geometric design on operating speeds along low-speed urban streets: mixed-model approach. *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board*. 2000, 1737, pp. 18-25.
10. **J.P. Tarris, C.M. Poe, J.M. Mason, K.G. Goulias**. Predicting operating speeds on low-speed urban streets: regression and panel analysis approaches. *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board*. 1996, 1523, pp. 46-54.
11. **J. Wang, K.K. Dixon, H. Li, M.P. Hunte**. Operating-speed model for low-speed urban tangent streets based on in-vehicle global positioning system data. *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board*. 2006, Vol. 1961, pp. 24-33.
12. **Karlgren**. *Bilars hastighet längs gator med gupp: metod för framställning av hastighetsprofiler och analys av hastighetsförlopp. Rapport 2001:1*. Chalmers Tekniska Högskola, Sweden. : s.n., 2001.
13. **Aronsson, Karin F. M.** Speed characteristics of urban streets based on driver behaviour studies and simulation. Doctoral Thesis in Infrastructure Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden, 2006.

14. **Stewart, James.** *Calcolo: funzioni di una variabile*. Milano : Apogeo, 2001. pp. 24-25.
15. **Muschitiello, Dott. Cristina.** Dispense Elementi Di Statistica. 2011-2012. Vol. 1, pp. 17-18.
16. **Maciejewsk, Ross.** *Data Representations, Transformations, and Statistics for Visual Reasoning*. 2011 : Morgan & Claypool . pp. 18-19. 978-1608456253.
17. **Scott, David W.** *Multivariate Density Estimation: Theory, Practice, and Visualization*. 2. s.l. : Wiley , 2015. pp. 56-59. ISBN 978-0-471-69755-8.
18. **Soliani, Lamberto.** *Manuale di Statistica per la Ricerca e la Professione*. Parma : s.n., 2007. pp. 55-65.
ebook:<http://www.dsa.unipr.it/soliani/soliani.html>.
19. **Muscato, Orazio.** *Metodi Matematici e Statistici*. Catania : s.n., 2014. pp. 106-111. sito web:
<http://www.dmi.unict.it/~muscato/MMStat.pdf>.
20. **Riganti, Riccardo.** *Dispense di Elementi di probabilità e statistica*. Torino : s.n. pp. 279-281.
21. **Loreti, Maurizio.** *Teoria degli Errori e Fondamenti di Statistica*. Padova : s.n., 2006. pp. 225-226. consultabile gratuitamente wwwcdf.pd.infn.it/labo/book.pdf.
22. **Roma, Massimo.** *Appunti dalle Lezioni di SISTEMI di SERVIZIO e SIMULAZIONE*. Roma : s.n., 2013. p. 151.
23. **Norman R. Drape, Harry Smith.** *Applied Regression Analysis*. III. s.l. : A Wiley-Interscience Publication, 1998. pp. 335-340. 0-471-17082-8.
24. **Palomba, Giulio.** L'R2? No, grazie. *DISES*. [Online] gennaio 2013.
<http://utenti.dises.univpm.it/palomba/Mat/Rsquared.pdf>.
25. **Simon P. Washington, Matthew G. Karlaftis, Fred L. Mannering.** *Statistical and Econometric Methods for Transportation Data Analysis, Second Edition*. II. Boca Raton, FL : Taylor&Francis Group, 2011. pp. 98-103;106-109;456. ISBN 978-1-4200-8285-2.
26. **Hubele, Montgomery Runger.** *Statistica per ingegneria*. [ed.] Maurizio Verri Matteo Gregoratti. II. Milano : EGEA S.p.a, 2012. pp. 323;333-336;343-344. ISBN 978-88-238-2149-1.
27. **C. Limoni, O. Petrini.** Ordine dei medici del Cantone Ticino. [Online] marzo 2009. [Cited: settembre 14, 2014.] sezione scientifica- angolo della statistica. <http://www.omct.ch/jahia/webdav/users/root/public/0903.pdf>.
28. **R. Dennis Cook, Sanford Weisberg.** *Residuals and Influence in Regression*. New York : Chapman & Hall, 1982. ISBN 0-412-24280-X.

29. **Wang, Jun.** *OPERATING SPEED MODELS FOR LOW SPEED URBAN ENVIRONMENTS BASED ON IN-VEHICLE GPS DATA.* Georgia : Georgia Institute of Technology, 2006. p. 92.
30. **Karen K. Dixon, Ph.D., P.E., Michael P. Hunter, Ph.D., Jun Wang, Ph.D., Saroch Boonsiripant, Seungkook Wu.** *Effects of Urban Street Environment on Operating Speeds.* Mclean : s.n., 2008. pp. 30-32.
31. **System, DataCollect Traffic.** yumpu. [Online] <https://www.yumpu.com/en/document/view/7988529/user-manual-radar-traffic-classifier-sdr>.
32. **Hesham Rakha, Wang Zhang.** ESTIMATING TRAFFIC STREAM SPACE-MEAN SPEED AND RELIABILITY FROM DUAL AND SINGLE LOOP DETECTORS. gennaio 2005, Vol. 1925, pp. 38-60.
33. *Highway Capacity Manual 2000.* Washington, D.C. : Transportation Research Board, 2000. pp. 5-6;7-2;7-3. ISBN 0-309-06681-6.
34. **Hashim, Ibrahim Hassan.** Analysis of speed characteristics for rural two-lane roads: A field study from Minoufiya Governorate, Egypt. March 2011, Vol. 2, 1, pp. 43–52.
35. *Highway Capacity Manual 2010.* Washington : American Association of State Highway and Transportation Officials, 2010. ISBN 978-1-56051-477-0.

Allegato.

- Viale Diaz.



Figura: Viale Diaz (Fonte Google Maps).

Variabili.				
Lunghezza della sezione [m]	Lunghezza del rettilineo [m]	Larghezza della corsia di marcia [m]	Larghezza della corsia di sorpasso [m]	Larghezza della corsia degli autobus/taxi [m]
106	450	3	3	3,25
Punti di accesso	Attraversamenti	Ostacolo laterale sinistro	Presenza di fermate dell'autobus	Tipologia di spartitraffico
Si (3)	Si (1)	2	Si (1)	1
Spartitraffico lato destro				
No (0)				

Intervallo di Tempo [hh.mm.]	Velocità media spaziale [km/h]	Flusso [v/min]	Flusso entrante e uscente [v/min]	Velocità a flusso libero [km/h]
8.05	45,95912	36	9	54,09
8.10	50,4595	32	7	54,09
8.15	47,87097	37	6	57,7
8.20	43,95393	24	3	55,24
8.25	44,03077	30	2	51,51
8.35	46,64	22	1	64,91
8.40	46,69367	32	5	58,25
8.45	46,12747	34	2	58,25
8.50	45,36503	18	4	54,09
8.55	46,8	27	4	64,45
9.00	44,24348	25	7	59,39
9.05	47,27788	28	3	59,92
9.10	48,24828	23	3	60,73
9.15	47,44216	25	3	64,45
9.20	44,2656	29	1	60,1
9.25	45,30411	28	2	61,82
9.30	47,27788	30	0	60,38
9.35	50,01553	29	3	63,84
9.40	47,1871	27	3	60,58
9.45	43,41557	20	3	59,69
9.50	46,53236	18	6	57,7
9.55	46,4381	25	1	61,82
10.00	47,89958	30	1	56,75
10.05	46,20938	31	3	60,73
10.10	47,41775	24	3	57,7
10.15	44,63158	22	1	60,38
10.20	46,09933	19	2	64,91
10.25	46,57323	34	1	55,48
10.30	47,488	31	1	52,99
10.35	43,74071	31	1	52,63
10.40	44,2656	33	3	54,09
10.45	46,03429	38	1	50,91
10.50	39,86866	47	5	61,82
10.55	46,83273	27	3	57,7

11.00	45,91867	31	5	60,58
11.05	44,83551	51	0	59,39
11.10	45,16898	30	4	55,83
11.15	48,45714	32	2	55,83
11.20	42,28255	48	1	64,91
11.25	47,49528	34	1	57,7
11.30	49,46667	35	1	48,08
11.35	45,03354	39	1	56,44
11.40	48,336	22	5	50,91
11.45	45,09818	41	5	50,91
11.50	42,88876	48	4	50,91
11.55	47,7	48	1	52,77
16.00	46,12747	34	6	50,91
16.05	39,66067	40	2	56,94
16.10	43,01272	42	5	51,51
16.15	44,56642	36	0	55,24
16.20	43,98102	36	2	46,36
16.25	45,46137	35	3	56,44
16.30	43,45623	37	3	46,36
16.35	43,248	41	4	54,09
16.40	40,11932	46	5	48,99
16.45	42,10759	35	3	48,08
16.50	43,83243	40	4	64,91
16.55	44,12505	62	9	54,51
17.00	46,49748	32	5	49,77
17.05	41,50332	37	8	54,51
17.10	40,27441	41	7	46,97
17.15	43,08387	31	3	45,43
17.20	42,24857	35	2	42,4
17.25	38,54545	42	5	54,51
17.30	41,90467	49	4	43,61
17.35	41,69801	36	3	50,88
17.40	43,16298	47	3	45,19
17.45	45,73483	36	4	54,51
17.50	41,43636	45	1	50,88
17.55	39,47586	48	4	49,24

- Via Lungo Saline.



Figura: Via Lungo Saline (Fonte Google Maps).

Variabili.				
Lunghezza della sezione [m]	Lunghezza del rettilineo [m]	Larghezza della corsia di marcia [m]	Larghezza della corsia di sorpasso [m]	Larghezza ostacolo laterale destro [m]
119,2	680	3,3	3,3	0,4
Punti di accesso	Attraversamenti	Ostacolo laterale sinistro	Presenza di fermate dell'autobus	Tipologia di spartitraffico
No (0)	No (0)	2	No (0)	3
Spartitraffico lato destro				
Si (1)				

Intervallo di Tempo [hh.mm.]	Velocità media spaziale [km/h]	Flusso [v/min]	Flusso entrante e uscente [v/min]	Velocità a flusso libero [km/h]
8.05	68,72028	45	0	66,02
8.10	70,61468	39	0	65,02
8.15	71,81192	41	0	64,77
8.25	62,02125	37	0	-
8.30	65,30087	35	0	67,76
8.35	62,99009	32	0	60,08
8.40	60,76035	48	0	62,58
8.45	65,32535	58	0	70,06
8.50	60,89822	43	0	61,30
8.55	65,50430	49	0	65,02
9.00	67,75579	36	0	75,10
9.05	64,51804	43	0	62,58
9.10	62,79805	36	0	71,52
9.15	60,60092	37	0	60,23
9.20	60,63652	39	0	61,30
9.25	65,63012	39	0	66,75
9.30	67,90788	47	0	61,30
9.35	60,65300	40	0	65,30
9.40	66,28683	38	0	69,86
9.45	67,87102	31	0	69,42
9.50	66,63354	25	0	67,76
9.55	66,14893	39	0	68,11
10.00	66,01846	32	0	63,11
10.05	68,29787	47	0	51,09
10.10	65,11111	45	0	61,30
10.15	65,70270	37	0	64,77
10.20	64,67742	62	0	71,52
10.25	64,33333	33	0	69,86
10.30	69,57500	40	0	68,27
10.35	63,62857	35	0	64,77
10.40	63,92105	38	0	64,37
10.45	69,21053	38	0	64,37
10.50	65,02439	41	0	71,52
10.55	65,35000	40	0	62,49
11.00	70,20000	35	0	66,75

11.05	62,85701	52	0	73,56
11.10	63,39273	39	0	68,27
11.20	68,65920	48	0	73,26
11.25	66,01846	38	0	66,02
11.30	64,73793	35	0	67,31
11.35	58,97858	29	0	65,30
11.40	70,86385	36	0	64,77
11.45	69,99830	46	0	66,48
11.50	66,50105	53	0	74,63
11.55	65,75226	57	0	69,21
12.00	59,75089	33	0	71,52
16.00	72,05373	45	0	74,63
16.05	73,38574	59	0	66,02
16.15	75,59024	65	0	66,02
16.20	75,28421	50	0	-
16.25	71,29994	54	0	-
16.30	75,24296	64	0	67,31
16.40	68,84278	60	0	76,63
16.45	69,81345	75	0	71,52
16.50	67,49070	67	0	71,52
16.55	71,88866	65	0	-
17.00	70,99412	45	0	-
17.05	73,52523	55	0	75,10
17.10	76,15782	52	0	74,63
17.20	71,33985	66	0	-
17.25	67,57795	60	0	68,66
17.30	73,63598	58	0	71,52
17.35	76,01554	62	0	-
17.45	68,36471	65	0	67,76
17.50	74,62957	64	0	-
17.55	71,10659	86	0	76,63
18.00	75,46593	51	0	-
18.05	64,55788	68	0	67,76
18.10	68,19349	82	0	75,73
18.20	75,86026	67	0	-
18.25	64,73793	70	0	64,37
18.30	67,43314	88	0	-

18.35	66,58759	63	0	-
18.40	69,01930	69	0	-
19.00	67,80906	67	0	-
19.05	68,32143	89	0	-
19.10	63,54564	85	0	-
19.15	73,11821	61	0	-
19.20	72,44883	78	0	-
19.25	68,77382	96	0	-
19.30	69,17804	64	0	-
19.35	75,11947	80	0	-
19.40	75,66348	70	0	-
19.45	67,89873	75	0	-
19.55	73,65493	69	0	-
20.00	68,35540	54	0	-

- Viale del Poetto.



Figura: Viale del Poetto (Fonte Google Maps).

Variabili.				
Lunghezza della sezione [m]	Lunghezza del rettilineo [m]	Larghezza della corsia di marcia [m]	Larghezza della corsia di sorpasso [m]	Larghezza della corsia degli autobus/taxi [m]
120,2	450	3	3	3,65
Punti di accesso	Attraversamenti	Ostacolo laterale sinistro	Presenza di fermate dell'autobus	Tipologia di spartitraffico
No (0)	No (0)	2	Si (1)	2
Spartitraffico lato destro				
No (0)				

Intervallo di Tempo [hh.mm.]	Velocità media spaziale [km/h]	Flusso [v/min]	Flusso entrante e uscente [v/min]	Velocità a flusso libero [km/h]
8.05	52,93915	27	0	54,09
8.10	-	-	0	-
8.15	57,92315	37	0	54,09
8.20	58,80167	44	0	57,7
8.25	55,63543	49	0	55,24
8.30	58,64703	40	0	51,51
8.35	57,59754	42	0	64,91
8.40	61,06935	40	0	58,25
8.45	57,86372	57	0	58,25
8.50	57,7816	49	0	54,09
8.55	55,07345	46	0	64,45
9.00	56,44174	44	0	59,39
9.05	58,93074	40	0	59,92
9.10	58,34427	44	0	60,73
9.15	60,73263	38	0	64,45
9.20	52,30681	50	0	60,1
9.25	57,97882	46	0	61,82
9.30	51,05841	45	0	60,38
9.35	56,21953	37	0	63,84
9.40	61,37135	68	0	60,58
9.45	55,1718	57	0	59,69
9.50	57,33199	53	0	57,7
9.55	51,30186	52	0	61,82
10.00	56,99806	56	0	56,75
10.05	56,66571	45	0	60,73
10.10	56,78778	29	0	57,7
10.15	55,33504	57	0	60,38
10.20	54,09	65	0	64,91
10.25	54,96443	58	0	55,48
10.30	53,57486	56	0	-
10.35	-	-	0	-
10.40	51,06096	69	0	52,99
10.45	57,696	50	0	52,63

10.50	52,16585	69	0	54,09
10.55	50,82282	80	0	-
11.00	56,58646	55	0	-
11.05	55,15059	59	0	50,91
11.10	58,86644	63	0	61,82
11.15	51,68113	68	0	57,7
11.20	52,34516	65	0	60,58
11.25	56,14132	74	0	-
11.30	57,4566	71	0	-
11.35	49,99554	63	0	55,83
11.40	53,70998	57	0	64,91
11.45	55,98965	79	0	-
11.50	-	-	0	-
11.55	53,17322	66	0	57,7
16.00	52,12309	68	0	48,08
16.05	52,94456	60	0	56,44
16.10	54,09	55	0	50,91
16.15	-	-	0	-
16.20	50,17043	61	0	50,91
16.25	53,91719	47	0	50,91
16.30	50,75111	62	0	52,77
16.35	49,23729	55	0	50,91
16.40	-	-	0	-
16.45	56,44174	60	0	56,94
16.50	49,89924	79	0	-
16.55	53,03532	52	0	51,51
17.00	55,05589	69	0	-
17.05	52,50984	60	0	55,24
17.10	53,20328	67	0	46,36
17.15	52,19211	67	0	56,44
17.20	51,04472	48	0	46,36
17.25	-	-	0	-
17.30	-	-	0	-
17.35	51,16997	50	0	54,09
17.40	53,6707	55	0	48,99
17.45	52,33762	66	0	48,08
17.50	-	-	0	-

17.55	-	-	0	-
18.00	49,09708	67	0	64,91

- Via Marconi.



Figura: Viale Marconi (Fonte Google Maps).

Variabili.				
Lunghezza della sezione [m]	Lunghezza del rettilineo [m]	Larghezza della corsia di marcia [m]	Larghezza della corsia di sorpasso [m]	Larghezza ostacolo laterale destro [m]
135,1	670	2,75	2,75	0,3
Punti di accesso	Attraversamenti	Ostacolo laterale sinistro	Presenza di fermate dell'autobus	Tipologia di spartitraffico
Si (1)	No (0)	1	No (0)	0
Spartitraffico lato destro				
No (0)				

Intervallo di Tempo [hh.mm.]	Velocità media spaziale [km/h]	Flusso [v/min]	Flusso entrante e uscente [v/min]	Velocità a flusso libero [km/h]
8.05	-	-	-	-
8.10	-	-	-	-
8.15	-	-	-	-
8.20	-	-	-	-
8.25	59,70	39	3	-
8.30	55,65	58	1	66,32
8.35	52,05	38	3	-
8.40	49,44	58	4	57,22
8.45	-	-	-	-
8.50	54,46	48	2	54,04
8.55	52,48	47	1	-
9.00	50,03	53	3	54,04
9.05	-	-	-	48,64
9.10	48,47	66	6	-
9.15	-	-	-	57,22
9.20	-	-	-	-
9.25	51,14	56	2	-
9.30	59,96	38	2	54,04
9.35	53,61	66	2	54,04
9.40	50,76	39	3	58,36
9.45	-	-	-	64,85
9.50	53,76	49	4	-
9.55	57,43	55	4	60,79
10.00	49,55	58	2	60,79
10.05	-	-	-	-
10.10	56,46	70	3	-
10.15	57,48	62	1	50,31
10.20	54,04	57	5	54,04
10.25	58,75	77	6	-
10.30	52,25	64	2	54,04
10.35	51,70	74	3	-
10.40	59,17	66	8	60,8
10.45	58,76	76	5	54,04
10.50	-	-	-	-
10.55	-	-	-	-

11.00	56,79	75	8	60,79
11.05	58,01	67	6	46,77
11.10	56,24	84	7	-
11.15	-	-	-	-
11.20	-	-	-	-
11.25	53,72	93	5	60,79
11.30	47,99	69	9	54,04
11.35	-	-	-	-
11.40	-	-	-	-
11.45	50,78	82	6	54,04
11.50	-	-	-	-
11.55	-	-	-	-
16.00	56,55	66	4	62,76
16.05	55,10	83	3	48,64
16.10	47,81	75	5	58,36
16.15	54,94	80	3	54,04
16.20	57,11	77	5	54,04
16.25	55,49	95	7	48,64
16.30	-	-	-	-
16.35	-	-	-	-
16.40	51,38	82	5	57,22
16.45	51,42	89	2	65,72
16.50	54,50	81	3	60,8
16.55	55,23	76	2	60,79
17.00	-	-	-	-
17.05	53,63	88	5	57,22
17.10	55,48	79	6	50,31
17.15	-	-	-	48,64
17.20	-	-	-	55,58
17.25	-	-	-	65,72
17.30	-	-	-	54,04
17.35	52,40	97	3	58,36
17.40	-	-	-	58,36
17.45	-	-	-	-
17.50	-	-	-	63,44
17.55	55,39	95	3	66,32
18.00	-	-	-	-

- Viale Elmas.



Figura: Viale Elmas (Fonte Google Maps).

Variabili.				
Lunghezza della sezione [m]	Lunghezza del rettilineo [m]	Larghezza della corsia di marcia [m]	Larghezza della corsia di sorpasso [m]	Larghezza ostacolo laterale destro [m]
150	1000	3,75	3,75	0,5
Punti di accesso	Attraversamenti	Ostacolo laterale sinistro	Presenza di fermate dell'autobus	Tipologia di spartitraffico
Si (1)	Si (1)	3	Si (1)	-
Spartitraffico lato destro				
-				

Intervallo di Tempo [hh.mm.]	Velocità media spaziale [km/h]	Flusso [v/min]	Flusso entrante e uscente [v/min]	Velocità a flusso libero [km/h]
8.05	-	-	-	-
8.10	65,07692	59	10	69,68
8.15	-	-	-	-
8.20	64,08791	60	22	69,68
8.25	61,57895	77	21	69,68
8.30	61,33874	71	15	67,5
8.35	-	-	-	-
8.40	62,68657	77	16	69,68
8.45	61,91083	64	15	-
8.50	53,91576	75	20	-
8.55	55,18868	78	22	60,00
9.00	-	-	-	-
9.05	60,00000	74	18	-
9.10	53,62759	85	14	61,71
9.15	54,33962	78	14	-
9.20	58,40000	89	19	65,85
9.25	58,04560	78	9	-
9.30	58,17073	58	15	67,5
9.35	60,86066	69	15	-
9.40	58,54206	74	17	63,53
9.45	57,95122	73	10	69,68
9.50	54,27598	67	18	65,45
9.55	56,57935	87	13	60
10.00	60,21239	67	10	60
10.05	53,90374	67	18	69,68
10.10	58,14159	84	15	67,5
10.15	61,31868	70	11	60
10.20	57,50000	84	16	69,68
10.25	58,52217	70	22	67,5
10.30	59,29412	61	23	63,53
10.35	52,40132	72	18	60
10.40	57,72414	75	16	54
10.45	55,94595	88	18	60
10.50	54,91525	88	17	67,5
10.55	-	-	-	-

11.00	59,61039	79	16	54
11.05	59,25811	82	14	67,5
11.10	53,32288	84	19	67,5
11.15	54,72973	89	23	69,68
11.20	52,54802	96	17	63,53
11.25	60,10601	73	22	63,53
11.30	49,84615	91	28	56,84
11.35	58,24345	88	21	67,5
11.40	56,84211	71	22	60
11.45	59,13043	80	21	54
11.50	54,40806	101	15	67,5
11.55	53,23944	84	22	-
12.00	55,57895	99	19	67,5
16.00	65,24164	80	18	67,5
16.05	71,01737	63	11	67,5
16.10	-	-	-	-
16.15	65,93684	66	11	69,68
16.20	58,84615	58	11	60
16.25	64,41352	66	13	63,53
16.30	63,77953	82	17	67,5
16.35	64,64789	81	12	60
16.40	66,90265	61	16	63,53
16.45	59,68912	77	18	-
16.50	65,57143	84	6	-
16.55	66,52174	78	10	-
17.00	66,83694	79	12	-
17.05	-	-	-	-
17.10	-	-	-	-
17.15	-	-	-	-
17.20	58,55422	84	19	-
17.25	61,40468	85	13	-
17.30	62,98279	71	11	-
17.35	61,96721	83	15	-
17.40	62,27027	82	13	-
17.45	60,21239	74	17	-
17.50	56,89861	75	22	-
17.55	55,36618	92	13	-

18.00	57,31844	66	11	-
18.05	53,73573	70	17	-
18.10	61,68539	68	20	-

- Viale Monastir.



Figura70: Viale Monastir (Fonte Google Maps).

Variabili.				
Lunghezza della sezione [m]	Lunghezza del rettilineo [m]	Larghezza della corsia di marcia [m]	Larghezza della corsia di sorpasso [m]	Larghezza ostacolo laterale destro [m]
143,00	800	3,75	3,75	0,3
Punti di accesso	Attraversamenti	Ostacolo laterale sinistro	Presenza di fermate dell'autobus	Tipologia di spartitraffico
Si (1)	Si (1)	0	Si (1)	-
Spartitraffico lato destro				
-				

Intervallo di Tempo [hh.mm.]	Velocità media spaziale [km/h]	Flusso [v/min]	Flusso entrante e uscente [v/min]	Velocità a flusso libero [km/h]
8.05	-	-	-	-
8.10	51,48	48	6	54,19
8.15	46,06711	44	9	54,19
8.20	55,80488	42	10	57,2
8.25	40,80732	55	17	46,8
8.30	51,06595	37	10	-
8.35	48,34416	39	15	-
8.40	-	-	-	-
8.45	52,21281	60	9	54,19
8.50	47,5338	57	13	-
8.55	44,9366	59	11	51,48
9.00	42,9	45	11	49,03
9.05	50,63607	66	12	59,4
9.10	50,36087	47	7	55,16
9.15	45,42353	48	16	51,48
9.20	48,16842	50	15	44,13
9.25	48,17394	56	20	58,83
9.30	45,02053	46	10	42,9
9.35	41,99275	55	20	42,9
9.40	37,93263	49	17	51,48
9.45	38,69795	66	8	-
9.50	39,6	47	10	54,19
9.55	41,82128	44	20	-
10.00	45,54	50	11	57,2
10.05	45,11549	62	14	-
10.10	45,18898	57	18	54,19
10.15	42,20806	66	11	54,19
10.20	41,40273	60	21	46,8
10.25	44,54176	60	10	-
10.30	42,96393	62	9	-
10.35	41,28511	53	11	-
10.40	39,05379	63	6	-
10.45	42,7023	59	20	-
10.50	41,83887	47	14	-
10.55	47,66667	48	22	-

11.00	41,15172	54	20	-
--------------	----------	----	----	---

- Viale Colombo.



Figura: Viale Colombo (Fonte Google Maps).

Variabili.				
Lunghezza della sezione [m]	Lunghezza del rettilineo [m]	Larghezza della corsia di marcia [m]	Larghezza della corsia di sorpasso [m]	Larghezza ostacolo laterale destro [m]
103,00	430	3,25	3,25	1,00
Punti di accesso	Attraversamenti	Ostacolo laterale sinistro	Presenza di fermate dell'autobus	Tipologia di spartitraffico
Si (1)	Si (1)	1	No (0)	-
Spartitraffico lato destro				
-				

Intervallo di Tempo [hh.mm.]	Velocità media spaziale [km/h]	Flusso [v/min]	Flusso entrante e uscente [v/min]	Velocità a flusso libero [km/h]
8.05	44,69	59	5	52,97
8.10	42,11	75	7	-
8.15	41,13	82	7	52,97
8.20	41,83	70	8	-
8.25	41,78	75	8	-
8.30	37,13	89	16	46,35
8.35	38,66	83	14	46,35
8.40	42,89	80	7	46,35
8.45	-	-	-	52,97
8.50	-	-	-	52,97
8.55	46,67	83	0	46,35
9.00	42,89	75	5	52,97
9.05	45,98	86	0	52,97
9.10	42,85	55	9	46,35
9.15	47,32	71	0	52,97
9.20	45,98	68	1	-
9.25	-	-	-	-
9.30	-	-	-	46,35
9.35	-	-	-	46,35
9.40	-	-	-	-
9.45	45,12	54	5	52,97
9.50	48,20	65	1	-
9.55	-	-	-	41,2
10.00	-	-	-	46,35
10.05	-	-	-	-
10.10	42,89	73	6	-
10.15	42,24	72	9	-
10.20	42,12	58	6	-
10.25	45,44	69	1	52,97
10.30	-	-	-	46,35
10.35	48,49	64	0	-
10.40	42,24	79	4	41,2
10.45	41,94	73	4	-
10.50	45,90	57	3	-
10.55	-	-	-	-

11.00	-	-	-	46,35
11.05	35,68	78	22	41,2
11.10	42,24	66	6	52,97
11.15	38,66	82	11	46,35
11.20	41,40	63	7	41,2
11.25	41,40	78	9	52,97
11.30	38,45	73	14	46,35
11.35	46,16	72	4	-
11.40	45,76	80	1	46,35
11.45	39,98	84	15	46,35
11.50	45,49	85	0	46,35
11.55	45,49	67	2	52,97
16.00	-	-	-	46,35
16.05	-	-	-	46,35
16.10	42,85	64	4	46,35
16.15	-	-	-	52,97
16.20	-	-	-	46,35
16.25	47,32	73	0	46,35
16.30	-	-	-	46,35
16.35	38,36	86	10	41,2
16.40	38,36	68	11	41,2
16.45	42,85	90	5	41,2
16.50	45,44	75	0	46,35
16.55	46,98	99	0	52,97
17.00	42,89	90	2	46,35
17.05	42,89	75	4	52,97
17.10	35,68	99	15	52,97
17.15	-	-	-	52,97
17.20	-	-	-	52,97
17.25	-	-	-	46,35
17.30	-	-	-	52,97
17.35	-	-	-	52,97
17.40	-	-	-	52,97
17.45	-	-	-	52,97
17.50	-	-	-	46,35
17.55	-	-	-	46,35
18.00	-	-	-	46,35

